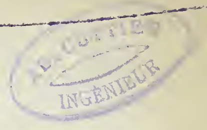
L. APPERT & J. HENRIVAUX
INGÉNIEURS

LA VERRERIE DEPUIS VINGT ANS



PARIS
E. BERNARD et Cie, IMPRIMEURS-EDITEURS
53 ter, Quai des Grands-Augustins, 53 ter
1894


INGÉNIEUR

Monsieur Cottier

hommage & souvenir

[illegible]

LA VERRERIE

DEPUIS VINGT ANS

PARIS. — IMPRIMERIE E. BERNARD ET Cie

23, RUE DES GRANDS-AUGUSTINS, 23

L. APPERT & J. HENRIVAUX

INGÉNIEURS

LA VERRERIE DEPUIS VINGT ANS



PARIS

E. BERNARD et Cie, IMPRIMEURS-EDITEURS

53 ter, Quai des Grands-Augustins, 53 ter

1894

LA VERRERIE

depuis vingt ans

PAR

MM. L. APPERT et J. HENRIVAUX

INGÉNIEURS

AVANT-PROPOS

L'industrie de la verrerie est presque aussi ancienne que l'humanité. Malgré son développement graduel à travers les âges, cette industrie qui ne reposait que sur d'anciens procédés et ne vivait que de recettes mystérieusement transmises et fidèlement observées, semble depuis quelques années entrer dans une voie nouvelle et devoir suivre comme perfectionnements de fabrication, et comme applications, le mouvement que les besoins plus pressants et constamment renouvelés de la civilisation impriment à l'industrie moderne.

Des procédés de fusion nouveaux, plus économiques et plus puissants basés sur l'étude des phénomènes de la combustion, l'emploi de moyens mécaniques destinés à suppléer et à remplacer le travail toujours épuisant et limité de l'homme, l'utilisation judicieuse des richesses naturelles, accumulées sous nos pas, ont permis de trouver au verre des applications nouvelles dans lesquelles ses nombreuses et incomparables qualités ont pu être utilisées.

En dehors de son emploi pour les usages domestiques, le verre est

appelé à répondre aux besoins de l'hygiène sous ses formes les plus diverses, et à rendre les plus grands services. Ces nouvelles applications sont susceptibles d'un développement illimité; par sa transparence et par la lumière qu'il permet de répandre, il est en effet un des agents d'assainissement les plus actifs; par son inaltérabilité et par le poli de sa surface il est un des corps les plus précieux permettant d'éviter les contagions morbides, aussi son emploi dans la construction des habitations a-t-il pris une importance croissante que ses qualités décoratives ne peuvent que contribuer à faciliter et à multiplier.

Dans cet exposé nous passerons en revue les progrès accomplis dans la fabrication du verre depuis l'Exposition de 1878, ainsi que les produits obtenus eux-mêmes considérés au point de vue de leurs qualités, de leurs formes et des usages auxquels on les destine.

Dans les différents produits présentés à l'Exposition de 1889, la qualité du verre était bonne en ce sens que les « compositions » vitrifiables, les fours de fusion, les fours de recuisson étaient mieux compris ; la chaleur étant mieux utilisée, on a pu obtenir économiquement une température plus élevée, et par conséquent fondre facilement des verres riches en silice et en chaux, d'où augmentation de dureté et d'inaltérabilité sous l'action des agents atmosphériques.

En outre, on a pu remplacer les verres allemands, réputés, avec raison, les meilleurs, pour certains usages spéciaux, tels que la fabrication des lampes à incandescence, celle des appareils de physique, de chimie et de démonstration, par des verres obtenus synthétiquement à l'aide de produits purs, alors que les verres allemands sont obtenus d'une façon empirique par l'emploi de sables alumineux. MM. Appert frères ont dans cette voie apporté des améliorations sensibles.

A signaler encore une tendance nouvelle, justifiée par les nécessités économiques de plus en plus impérieuses qui dominent la production, et qui consiste dans l'emploi de produits naturels dans lesquels se

trouve la silice combinée à des quantités plus ou moins considérables de bases alcalines indispensables à la production du verre. C'est ainsi que M. Richarme, de Rive-de-Gier, a fait entrer presqu'exclusivement dans les mélanges vitrifiables les feldspaths, les basaltes, les granits, les obsidiennes.

Au point de vue de la coloration, les verres blancs étaient plus incolores que jamais, témoin les glaces de Saint-Gobain, le cristal blanc de Sèvres, les cristaux de MM. Webb, le verre optique extra blanc de MM. Appert frères, les verres de gobeleterie à la potasse de MM. James Vidie et fils, les verres à cylindres de Bagneaux, etc.

En ce qui concerne la verrerie artistique, les améliorations consistaient plutôt dans la façon dont les teintes de verres ont été harmonisées, que dans l'application des nuances nouvelles.

On a pu obtenir des effets nouveaux par la dissémination de verres pulvérisés de diverses grosseurs et de diverses teintes dans l'épaisseur de la pièce de verre; ce mode de décoration imaginée par M. Rousseau lui a permis d'imiter les pierres gemmes que l'on trouve dans la nature sous les formes les plus variées et les plus brillantes.

M. Rousseau-Léveillé s'est attaché également à perfectionner les formes et la matière des cristaux de luxe. Quelques-unes de ces pièces, aux profils élégants et aux riches montures d'or et d'argent étaient de véritables œuvres d'art qui méritent d'être signalées.

En 1885, la maison Rousseau devint la maison Rousseau-Léveillé. M. Léveillé, s'inspirant de l'art japonais et combinant l'emploi des acides avec la molette du graveur a pu présenter à l'Exposition de 1889 certaines pièces originales qui montrent le parti qu'on peut tirer de l'assemblage des différentes espèces de verre travaillées après coup.

Ainsi, pour exemple, nous citerons un grand vase avec poissons en verre neutre, avec colorations d'oxyde d'urane et de cuivre à l'intérieur, et une doublure rouge-brique à l'extérieur; cette doublure a été

retournée deux fois sur elle-même pour permettre à la gravure de produire des tons différents.

Les pièces en imitation de sardoines foncées, taillées à rinceaux avec colorations extérieures étaient également très remarquées, ainsi que des agates avec bord râpé, une coupe couleur fleur de pêcher et un vase méplat avec tête renaissance posée sur feuille d'or.

Ces objets, nouveaux comme décorations, indiquent que cet art peut encore se développer, « s'affiner » en donnant au verre toute sa valeur comme forme, et, comme coloration, en arrivant à supprimer complètement la décoration extérieure — or ou émail — cela en combinant les colorations, les graduant, laissant au verre toute sa transparence, qui en est la qualité essentielle et la plus précieuse.

M. Cros s'était appliqué à reproduire des objets anciens en verre, de plusieurs couleurs, non pas par les procédés habituels : émaux juxtaposés ou couches superposées de verres diversement colorés, mais modelés avec des masses plastiques de nuances variées et vitrifiées par la cuisson.

Les résultats obtenus par M. Cros permettent de prévoir que l'industrie pourra obtenir des effets décoratifs nouveaux, mais qui déjà étaient familiers aux verriers de l'antiquité.

Par application des émaux transparents ou opaques, M. Brocard (de Paris) avait reproduit d'une façon remarquable les dessins figurant sur les vases arabes, coupes de mosquées, brûle-parfums, etc.

La maison Feix frères, d'Albrechtsdorf (Autriche-Hongrie), a obtenu un légitime succès par la décoration de ses produits à l'aide de la galvanoplastie.

Le procédé consiste à fixer d'abord sur la pièce de verre un décor au platine métallique, à utiliser ce dessin conducteur pour l'obtention d'un dépôt de cuivre métallique, qu'on recouvre ensuite d'une mince couche d'or. Nous reproduisons des spécimens de cette fabrication.

Les procédés de taille et de gravure se sont perfectionnés et, à côté des moyens mécaniques qui permettent de tailler à la fois à côtes plates ou à côtes creuses, on remarque les tailles les plus fines, les plus régulières, les plus brillantes, faites à la main, et qui, sur des verres en couches superposées et diversement colorées, produisent les effets artistiques les plus agréables et sont comparables aux camées en pierre dure.

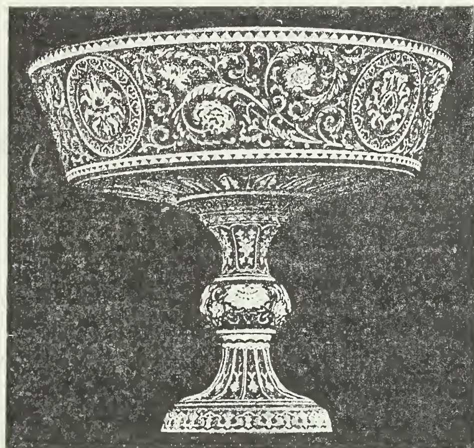


Fig. 1

Des spécimens remarquables de ce genre de taille ont été exposés par MM. Gallé (de Nancy), Reyen, Léveillé-Rousseau, Landier et Houdaille, Webb, Thomas et Sons.

Les cristaux de MM. Webb sont parfaits comme blancheur et comme taille. Parmi les verres différemment colorés — couches superposées — exposés par ces messieurs, nous citerons notamment une coupe laissant apparaître en nuance claire, jaunâtre sur un fond sombre, un décor très savamment étudié.

Nous la reproduisons (fig. 1), tout en faisant remarquer qu'une décoration plus sobre, telle que celle de la coupe représentée (fig. 2) eût donné à la pièce exposée par MM. Webb une valeur artistique plus considérable.

Nous reproduisons également un plateau (fig. 3) obtenu par un procédé identique et où la couleur seule du décor diffère; tantôt ivoirine, tantôt légèrement orangée ou bleue.

M. Reyen avait une exposition particulièrement remarquable dans laquelle figurait un vitrail représentant une nymphe courant sur les rochers, deux portraits de famille, deux sujets Téniers, un vase forme Louis XV, dont le fond en verre opalin et parsemé de place en place



Fig. 2

d'émaux de couleurs variées que l'enlèvement de la couche générale brune laisse voir.

MM. Davis, Collamore et Cie, de New-York, nous ont fait voir des cristaux d'une pureté remarquable, taillés en pointes de diamants. Cette taille nous remet en présence de ces cristaux si en faveur en France, de 1825 à 1830, et dont l'effet est, sinon très artistique, du

moins tout à fait décoratif, surtout quand les objets ainsi décorés sont examinés à la lumière artificielle.

A l'Exposition de 1889, M. E. Gallé, de Nancy, l'artiste éminent, avait élevé un pavillon dont l'ensemble rappelait la tente d'un Druide, d'un chef gaulois; le tout imaginé, dessiné, exécuté par lui-même.



Fig. 3

Des piques relevant tout autour la draperie et surmontées elles-mêmes du sanglier celtique en bronze vert, d'où pendent les torques gaulois en verroterie, des coqs gaulois, complètent la décoration. La boiserie est faite uniquement des essences de vieilles forêts lorraines.

L'aménagement de ce pavillon a été fait avec un goût exquis.

Nous avons distingué parmi les pièces, toutes remarquables, de ces expositions de M. Gallé, des *colorations* nouvelles dont deux, entre autres, sont dues à l'irridium et au thallium; d'autres jaunes, quelques bruns et verdâtres irrisés, dus à l'argent et au soufre; un bleu-paon dû au cuivre et au fer; des bruns au soufre, au cachou.

D'autres colorations jaspées, marbrées, des compositions nombreuses, les unes opaques, les autres transparentes, des malaxages ; des applications à chaud, des superpositions de couches diversement colorées, des interpositions, des décors pris entre deux verres, des *arborisations* dont la disposition est réglée à l'avance par l'artiste.

M. Gallé a, pour la préparation de ces pièces polychromes, plus de cent compositions différentes, dont les combinaisons lui permettent d'obtenir une variété infinie d'accidents voulus et de nuances inédites.

La projection de matières émettant au contact du cristal en fusion des vapeurs susceptibles de former, dans le flux vitreux, des soufflures, de s'y réduire en irisations, de se fixer aux parois de ces vases en mince couche métallique, produit des *bullages colorés* et à reflets dont les effets sont *entièrement neufs* et très décoratifs.

Il y a aussi à remarquer des colorations superficielles, des *teintures*, *reflets*, *flambages*, *métallisations* ou *désoxydations* dans lesquelles l'oxyde métallique de la composition se réduit en gouttelettes brillantes et solides, bosselant la masse qui les retient. Ces flambés, ces perles métalliques, ces irisations sont le produit de l'action, soit réductrice, soit oxydante de l'atmosphère du four sur des *paraisons* présentées à l'ouvreau du four et revêtues à chaud de compositions spéciales.

Les *flambés* obtenus par le réchauffage de verres au protoxyde de cuivre ont là encore des échantillons remarquables.

IMITATIONS DE PIERRES DURES

Cristaux genre quartz enfumé et quartz améthyste.

On sait que l'oxyde de manganèse colore la matière vitreuse en violet riche ou terne, suivant que la base en est sodique ou potassique. Mais les quartz sont rarement unis, et sont plutôt striés, nuageux. Les procédés de M. E. Gallé ont servi à reproduire ces accidents, qui divisent

les rayons lumineux d'une façon agréable à l'œil, et rompent par des nuances locales la monotonie du ton. On voit des pièces où la coloration violacée est affectée de marbrures, de jaspures, d'agatisés, de nuagés, — et d'autres où elle est condensée à certains endroits.

Les compositions numéros 121 et 92 [1] au péroxyde de manganèse,



Fig. 4. — Vase en cristal marbré, gravure camée : « Orphée perdant Eurydice ». Composition de la fabrication de M. E. Gallé. de Nancy. (Exp. 1889, collection de M. L. Cléry).

maintenu à son maximum d'oxydation, donnent une sorte de truité, et les numéros 81 et 82 ont des aspects d'algues marines.

M. Gallé a reproduit les fêlures brillantes de certains quartz en pro-

1. Ces numéros et ceux qui suivent sont ceux dans lesquels étaient cataloguées les pièces exposées par M. Gallé en 1889.

Nous reconaissons qu'il est difficile au lecteur de se reporter à cette classification, mais nous ne voyons pas le moyen d'opérer d'autre manière qu'en reproduisant les notes prises par nous à cette époque.

jetant de l'eau froide sur le vase pendant le travail du verrier; mais c'est là un procédé connu; d'ailleurs, ces pièces de forte épaisseur ne sont déjà que trop exposées à prendre la *trempe*, qui amène ensuite la rupture à la taillerie. Aussi a-t-il employé quelquefois des brins d'amiante, des paillettes micacées; exemples : numéro 3, vase méplat, souillé d'une préparation au manganèse, sujet gravé et doré : « Vercingétorix »; numéro 301, vase Médicis, verre améthyste, nuagé, agatisé par l'incorpoporation d'un verre demi-opaque, dit albâtre ou pâte de riz, sous forme de composition d'une vasque, numéro 98, dont le *Journal de Saint-Pétersbourg* a donné une description lyrique : manganésée, puis à couche de cristal rubis, elle est encore marbrée de préparations diverses à l'or et à l'argent.

La juxtaposition, le soudage de bandeaux de cristal violacé, plus ou moins bleu ou rouge, et d'une pâte noire opaque, pour former un seul vase, a donné des aspects riches et nouveaux. La gravure des couches noires est venue achever cette œuvre.

Ainsi, dans la pièce numéro 16, la base et le col blanc, à couche noire ciselée de phalènes en relief, sont séparés par une boule améthiste, et le tout forme un cornet; de même, dans la pièce numéro 127, une paraison bleue violacée a son bord égalisé, soudé à celui d'une autre paraison blanche, doublée de pâte opaque noire; les compositions n'étant pas discordantes, on a pu en faire, sans rupture, une seule coupe richement gravée. Une coupe gravée de fins camées noirs est portée par un pied améthyste tendre, où l'artiste a gravé cette inscription : « De noir chagrin, douce améthyste console ».

Enfin, d'un type similaire était le flacon offert à M. le Président de la République par la collectivité des distillateurs; dans des couches d'un noir rouillé et d'un violet pourpre, sont découpées des branches fleuries et des fruits d'illicium anisatum, avec cet exergue : « Je vaincrai par la douceur ».

NOIR (HYALITE)

Cette composition serait d'un aspect assez triste; mais la taille y met à jour des nuages verdâtres que le graveur peut utiliser heureusement, comme le montre la pièce numéro 122, gargoulette au long col où la couche noire a été découpée en vapeurs et en ailes de libellules, et encore un petit vase très finement gravé d'un Amour chassant les papillons noirs. M. Gallé attribue le reflet gris, qui irise en quelque sorte cette matière, à un commencement de réduction du peroxyde de fer, en présence de l'atmosphère charbonneuse de l'ouvreau durant le travail.

IMITATIONS D'AMBRE

On remarque diverses pièces dans lesquelles l'artiste a cherché à utiliser des procédés de coloration jaune anciennement connus, en y ajoutant des effets nouveaux imités directement de morceaux d'ambre rouge, gris, etc.; exemples : numéro 290, vase orné de cerises en camée; numéro 300, vase imitant un *ambre brut* souillé de corpuscules dans sa masse; numéro 141, olive en verre jaune, malaxé par du soufre, et simulant des algues; numéro 153, petit cornet ambre gris, à rapports de pâte jaunâtre, soudés à chaud et gravés; un petit vase numéro 38 et une petite tasse se rapprochant assez bien des colorations naturelles, comme on peut s'en convaincre par l'examen du morceau d'ambre qui a servi de modèle à M. Gallé.

Une partie de ces colorations est due à l'argent, comme le montrent dans ce verre à base alcaline des taches à la réfraction.

Un petit vase numéro 18, exposé dans la grande galerie, est fait d'une matière vitreuse, remarquable par sa coloration singulière et nouvelle : verre jaune, opacifié par des taches orangées, brillantes, passant au

brun verdâtre ou bleuâtre. Cette matière s'est irisée à l'ouvreau de légers reflets d'un bleu violacé, dus au métal contenu dans la composition.

La superposition du rose à l'or, sur des jaunes agatisés d'argent, donne des résultats qui s'éloignent de la nature, mais ne manquent pas de richesse et surtout d'imprévu (voir les pièces numéros 4 et 22).

COLORATIONS DIVERSES

On remarquera un verre opaque, de couleur vert antique due au chrome, et dont M. Gallé se sert dans les pièces triplées et quadruplées.

Elle produit un effet particulièrement remarquable dans la pièce numéro 108, sorte de grand camée dont la couche superficielle brune, d'une forte épaisseur gravée profondément, enlève sur un fond partiel vert antique des végétations et des animaux en haut relief.

Un cornet (numéro 139) offre à son tour, sous une couche brune, un verre flammé d'émail orangé opaque (antimoniate de plomb), glacé de rubis au cuivre d'un grand éclat. Une mince couche de brun, laissée sur le rouge de cuivre, lui donne un aspect fumeux intéressant.

BULLAGES IRISÉS

Les pièces numéros 99, 42 et 153 présentent des applications décoratives du singulier tour de main décrit plus haut. Dans le bol numéro 99, la composition numéro 81 a produit dans la matière des bulles à reflet argenté brunâtre, qui sont venues hérisser de verrues luisantes les pétales d'une orchidée fantaisiste.

Dans le numéro 42, une quantité de longues bulles allongées imitent des bouillons d'eau ; les soufflures, qui sèment une fiole à col allongé

de fines gouttes de pluie, sont dues à des compositions différentes, où il est facile de reconnaître la présence de l'argent.

C'est encore l'argent qui a donné l'aspect de certaines verreries antiques, altérées dans leur composition par les agents atmosphériques.

Les nuances dichroïques du pourpre de Cassius, variables suivant la composition du verre, forment, sur quelques pièces, des taches opaques orangées d'un certain éclat, jaunes à la réflexion et pourpres à la transparence.

Ces effets ont été utilisés par M. Gallé sur des pièces diverses, entre autres sur un cornet numéro 134, où l'or précipité a maculé de taches bleuâtres, violacées, marron, groseille et terreuses, un verre sodique, destiné à imiter les colorations des écailles et des pétales enroulées des boutons et des fleurs du magnolia.

FLAMBÉS AU CUIVRE

Les pièces 91, 25, etc., ont été recouvertes d'une composition au cuivre exposée à l'atmosphère de l'ouvreau. La coloration est très inégale, très variable, tantôt même à peine sensible, parfois sous forme d'un réseau brun. La coupe 25, exposée à des vapeurs de charbon désoxydantes, a revêtu une flamboyante coloration. Le cuivre s'y présente translucide, rouge à la réflexion et bleu à la réfraction.

Au contraire, dans le vase 19, à panse de jade et à col jaune sanguinolent, le cuivre de cette dernière partie, soumis à une atmosphère oxydante durant des chauffes successives, a vu la coloration d'abord rouge disparaître presque entièrement.

Enfin, dans des essais récents, numéros 10-31, une autre façon d'opérer fait apparaître un flux rouge sur des formes sombres, et semblerait promettre sur le verre et le cristal l'intensité des colorations au cuivre des flambés de porcelaine.

IMITATION DE JADES

Les nuances de ces matières dures ont inspiré à M. Gallé diverses colorations dont le type sont des albâtres au sulfate de potasse très légèrement teintés de verdâtre par des proportions variables de bichromate de potasse, d'oxyde de fer et de cuivre. Il est important que la nuance verte soit très peu accusée, sous peine de tomber dans les nuances ordinaires. Cependant, pour éviter le jade vert impérial, on pourrait la soutenir davantage, mais ce sont surtout des interpositions de compositions colorées qui donneront les meilleurs effets. Comme la demi-opacité de l'albâtre suffit à masquer complètement les matières qu'on y introduit, au lieu du malaxage, il est préférable de faire des applications superficielles du marbrage, ou, si l'on trouvait les résultats trop secs, glacer, pour ainsi dire, les marbrures par une couche de verre incolore. Les numéros 25-19 sont des exemples intéressants de cette fabrication.

AGATES MOUSSUES ARBORISÉES

De nombreuses applications ont été faites par M. Gallé : ce sont des cristaux blancs ou verdis légèrement ; des préparations spéciales y sont incorporées à chaud au moment du travail, et disposées soit en persillés, sablés, mouchetés, ou bien en ramifications élégantes cueillies par le verrier. Ces effets peuvent être simples ou combinés, superposés, entremêlés de couches de cristaux opales à faible proportion d'opacifiants, soit blancs, soit de colorations très légères.

Il existe au Musée des Arts décoratifs, à Paris, un bassin de la fabrication de M. Gallé, bassin orné de renoncules de rivière, taillées en relief dans une couche d'opale assez semblable à de la cire vierge.

Il a aussi coloré des couches opaques à l'aide de rose d'or, tantôt très vif, tantôt d'une paleur extrême (fleur d'hydrangea, vase 143; fleur

d'amaryllidée, vase 155); de là des nuances tendres, des morbidesses simples de pétales et de chairs. Exemples : numéros 110-111, une paire d'urnes couvertes, l'une à l'étude de bégonia, enlevée au touret, en pleine pâte rose, pourpre sur fond de cendre bleu mat ; l'autre, une chute de fuchsias demi-transparents, dont les feuilles gravées utilisent, en les mettant au vif, des verts frais et piquants: ailleurs enfin, numéro 116, une coupe genre agate rubanée noire, passant au verdâtre, à reliefs de fleurs carnées du coloris le plus suave; un bol à pied en cristal blanc, dont la limpidité laisse transparaître des végétations moussues : l'extérieur est comme enveloppé d'un vol d'éphémères, gravés en relief dans une pâte rose et formant réseau.

AGATES-ONYX, MALAXAGES, INCRUSTATIONS, DÉCORS INTÉRIEURS

En incorporant à la masse diaphane du verre des rubans colorés, M. Gallé a obtenu des effets très intéressants. Les deux vases 53 sont faits de cristal légèrement opacifié par du phosphate de chaux, auquel le verrier a mêlé des rubans de verre noir avant de commencer le travail. Les dessins varient à l'infini, et l'imagination de M. Gallé a su les mettre en évidence en les soulignant d'une esquisse légère, tracée à la surface du vase. L'emploi et l'excès du manganèse doivent être évités dans la composition du noir, pour ne pas affecter d'une teinte commune les nuances bleuâtres opalisées du phosphate de chaux.

Un autre genre de décor dans la masse est présenté par un vase numéro 44, en verre potassique, teinté par du cuivre, du fer, de l'iridium. Autour d'une paraison, ont été cueillis de minces cassons d'émail blanc, découpés en ailes de papillons. Le tout a été doublé d'une calotte de même verre potassique, et les applications de la gravure ont fait le reste. Une vaste fleur rouge opaque (protoxyde de cuivre), avec son pistil et

ses étamines, est enfermée dans la masse du vase 135 ; le graveur n'a eu qu'à accentuer extérieurement les effets par les reliefs en supprimant les bavures. Le numéro 131 a été, lui aussi, littéralement décoré dans sa masse, afin d'encadrer un sujet prévu d'avance, inspiration qui a dû guider la confection du vase par le verrier. On y voit des traces de feuillages, de branches et de glands, motifs indiqués avec une souplesse égale à celle du pinceau.

Depuis 1878, M. Gallé s'est attaché à développer la palette, qui permet d'orner le verre à l'aide de couleurs et d'émaux vitrifiables à de basses températures proches de son ramollissement.

Des émaux de relief, à la mode japonnaise, présentés par M. Gallé en 1878, ayant eu beaucoup de succès, cet artiste éminent a cherché à renouveler ces émaux par des nuances non employées encore : bleus variés verts, et jaunes de toutes sortes, y compris des tons fins et rompus. La palette de ses ateliers d'émaillage était déjà fort complète à l'Exposition des Arts décoratifs en 1884. Elle comprenait à peu près tous les moyens de décorer le verre, les grisailles des vitraux appliqués à des vases pailletés d'argent et d'or, le camaïeu noir, la teinture en jaune par l'argent, les peintures de platine et d'or, la surdécoration d'un excipient au moyen des couleurs de cristal, l'émail blanc de Bohême, fritté d'acide stannique, de silice et de minium d'un aspect sec, et bon tout au plus à des adaptations de syles anciens. A la même époque, une nouvelle série d'émaux transparents en relief était également présentée par M. Gallé, qui, continuant sans relâche ses recherches sur les émaux, met aujourd'hui sous nos yeux des émaux opaques de teintes fausses et bizarres, des nuances rompues destinées à jeter du piquant au milieu d'une gamme puissante, des émaux opaques colorés par des préparations à l'or fournissant des roses, des lilas, qui ont aussi leurs emplois.

En résumé, il n'est guère aujourd'hui de nuances, si fugitives soient-elles, que ne puisse reproduire M. Gallé, depuis l'orangé, le rouge de

cire à cacheter, jusqu'au violet et au pourpre; certaines bordures (vase genre quartz enfumé), numéro 119; (boîte antique, 147), ont la délicatesse de tons des cachemires. Le glacé de ces compositions est parfait, leur adhérence est complète. Enfin, ces émaux peuvent être surdécorés de couleurs tendres, et recevoir des feuilles métalliques fixées par des fondants.

On pouvait voir, à la classe 10, et au vestibule d'honneur, des spécimens différents de ces procédés, et, parmi eux, des échantillons qui ont reçu à la fois plusieurs gravures d'émaux cuisant à des feux d'intensités diverses.

NOUVEAUX ÉMAUX TRANSLUCIDES

En 1884, M. Gallé présentait quelques émaux translucides, alors nouveaux, distincts de ceux employés dans le vitrail, et distincts également du bel émail bleu limpide connu des Arabes. Depuis lors, des essais du même genre se sont produits à l'étranger, notamment en Silésie, chez M. Helckart. Mais ces préparations, d'un aspect un peu forain, étaient fort inférieures et de relief nul. On peut en voir aujourd'hui de très nettes, possédant à la fois la limpidité et le relief, ce qui en augmente l'effet séduisant, mais aussi les difficultés de réussite. L'avantage de ces émaux translucides, en s'adaptant à des pièces préalablement décorées d'émaux opaques d'une cuisson plus dure, est de donner à l'œil une satisfaction complète, que la pièce soit examinée à la lumière réfléchie ou bien aux rayons réfractés. Et, ainsi, telle veilleuse, dont le décor en un seul émail opaque n'eût donné son effet que de jour, ce qui est un contresens, pourra, grâce à l'association de ces fondants colorés, scintiller à la lumière artificielle de tous les feux du rubis et du diamant.

ÉMAUX-BIJOUX

Une autre application, faite par M. Gallé, est l'emploi entièrement neuf, dans la décoration des émaux de petit feu, d'une série toute différente d'émaux translucides, qu'il a appelés *émaux-bijoux*. Dans ses ateliers, on les applique à basse température sur un excipient métallique adhérent aux vases par une cuisson préalable. La difficulté était de trouver une composition qui n'altérât pas la dorure, et qui fut assez diaphane pour ne pas arrêter le feu des reflets métalliques.

Cette difficulté a été vaincue, mais non sans peine, car une extrême fusibilité rend délicat l'emploi de ces préparations. Il faut les glacer à point pour leur assurer la transparence, et pourtant leur fluidité à basse température de moufle peut amener des dégâts. Ils sont exposés, sur les flancs de pièces un peu plus grandes, à plus de risques encore ; la moindre inégalité de température suffit à noyer les ornements du bas, tout en laissant ceux du col insuffisamment à point. On peut voir toutefois quelques pièces importantes sur lesquelles des végétations d'émeraude, de topaze, d'ambre, de rubis sont nettement développés (vases 270, 271, 272 ; plateaux 58, 11 ; boîte 55).

Leur alliance, avec tous les émaux précédemment décrits, a permis à M. Gallé d'imiter la nature, de donner sur la même pièce, aux élytres d'un scarabée, aux yeux d'une libellule, les reflets d'acier et d'azur, et, à l'aile soulevée, la diaphanéité des tissus vivants ; quelquefois même celle des gouttes de rosée (nº 82).

Les émaux-bijoux offriront encore un intérêt particulier dans la décoration des anses et bagues de cristaux. Sans doute, en principe, la simulation d'un autre art est peu recommandable, mais M. Gallé a pensé que des décors d'orfèvrerie, enveloppant et engraissant des attaches si frêles, rassureraient l'œil. Il n'a, d'ailleurs, employé ce procédé qu'avec discrétion (gobelets et carafes genre cristal de roche).

ÉMAUX CHAMPLEVÉS

Un des nouveaux procédés de M. Gallé touche de près à celui des émaux champlevés sur cuivre et a des incrustations faites sur des cristaux de roche (bol n⁰ 21, vase 39, seau 286, hanap 289). Des cavités ont été creusées dans le verre, puis dorées au feu. Elles reçoivent à plusieurs feux, si cela est nécessaire, de l'émail translucide jusqu'à l'affleurement complet de leur surface avec celle de la pièce.

On remarquera aussi les décors que M. Gallé, se servant d'un terme des peintres faïenciers, appelle *décors en sous-couverte au petit feu.* Ce sont des glaçures très fusibles, adaptées au verre dur qui doit le recevoir ; elles le glaceront de patines bizarres (vases 273, 89, 233 à 236 numéros des collections exposées), envoyant sous un flux vitreux et teinté des gravures, des nielles, des paysages en camaïeux. De ce genre est issu le n° 278, dit mosaïqué.

ÉGLOMISÉS

A signaler des verres doubles (n[os] 286-288), qui se distinguent de ceux faits aux XVII et XVIII[e] siècles en Bohême, par leurs grandes dimensions et par ce fait que le décor est enfermé à chaud, et qu'il a lui-même subi plusieurs cuissons. La capsule intérieure, devenue indistincte de l'autre, a été ornée d'émaux-bijoux incrustés ; puis elle a été emboîtée dans celle extérieure, qui dissimule entièrement la suture par un décor d'émail opaque.



Fig 5. — Verre de cristal taillé, à deux couches M. E. Gallé.

En résumé, M. E. Gallé a rendu un service immense à l'art industriel en faisant

entrer en jeu l'imagination pour utiliser, au point de vue décoratif, les recherches techniques, tant au point de vue de la coloration dans la masse que dans l'émaillage superficiel.

Si nous nous sommes étendus aussi longuement sur cette exposition particulière, c'est en raison de la place considérable prise par M. E. Gallé qui s'est affirmé en chef d'école, comme un maître incontestable de la verrerie décorative et artistique de l'époque actuelle [1].

---

1. *Revue des Arts décoratifs* (J. Henrivaux).

VERRERIE ITALIENNE

L'Italie, dont les verreries ont eu un énorme succès, en 1878, était



Fig. 6

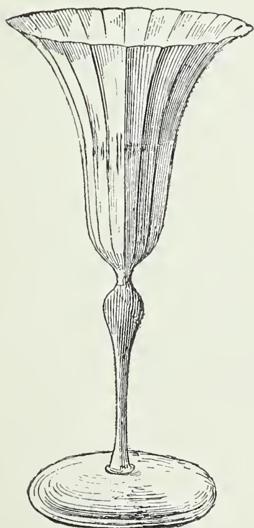


Fig. 7

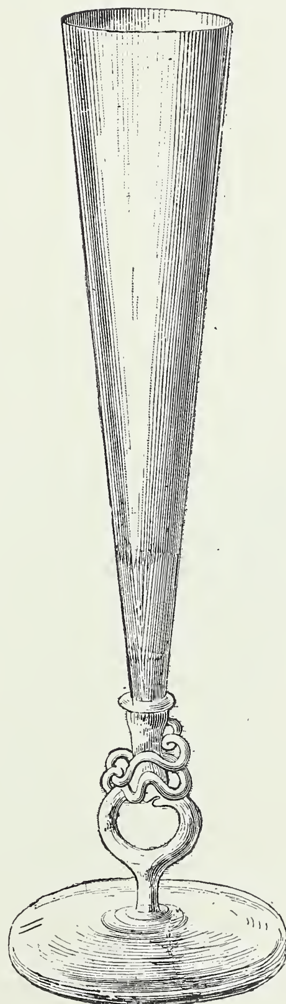


Fig. 8

encore représentée en 1889 au Champ de Mars. On y voyait, non

loin de la Tour Eiffel, l'éternel et primitif four vénitien, semblable à très peu près à ceux de l'époque brillante de Venise, semblable encore



Fig. 9



Fig, 10

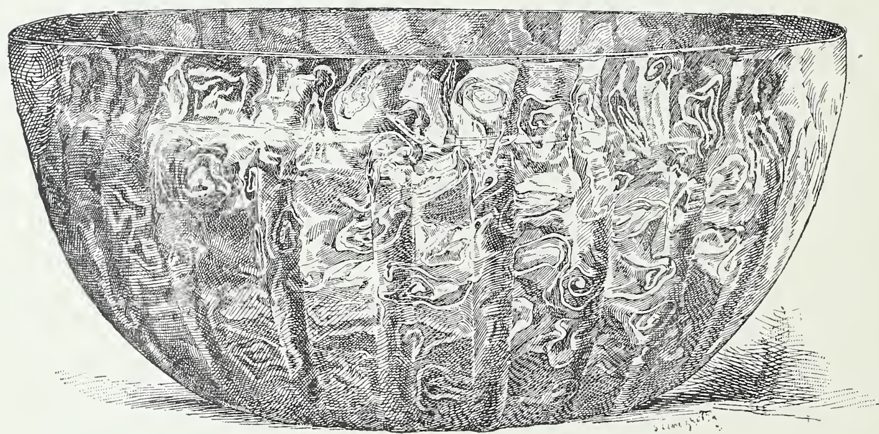


Fig. 11

à celui de l'Exposition de 1878, de l'Exposition de Bruxelles en 1880, de l'Exposition d'Anvers, de l'Exposition de Barcelone; semblable sera très probablement celui de la future Exposition.

Disons cependant que des verriers de Venise, des verriers ingénieurs, MM. Zecchin, ont implanté à Murano des fours chauffés par le gaz et — qui plus est — des fours à cuve à plusieurs compartiments, dans lesquels on fond des verres de différentes colorations.

Venise nous montrait encore cette fois les merveilles d'adresse et d'habileté de ses artistes verriers qui semblent jouer avec les difficultés auxquelles se prête d'ailleurs une pâte de verre molle, maniable à plaisir (fig. 6-7-8-9-10). Et Dieu sait si les Vénitiens en abusent ! Aussi avons-nous constaté d'une façon absolue l'absence de formes nouvelles, mais au contraire l'excès de contorsions du verre amenant forcément le maniérisme fragile et la mièvrerie prétentieuse. Nous citerons seulement les verres et objets de verrerie exposés par Salviati, ne nous arrêtant pas aux autres objets de même nature dont les colorations heurtées nous éloignent, et dont les formes nous font regretter la simplicité d'autrefois.

Il est à regretter que la fabrication des verres Murrhins n'ait pas été représentée en 1889, comme elle l'était en 1878. Cette fabrication spéciale présente des difficultés qui donnent une valeur considérable à ces objets.

Voici (fig. 11) le dessin d'un de ceux qui figuraient à l'Exposition de 1878.

AUTRICHE-HONGRIE

Nous voudrions citer les magnifiques produits fabriqués par M. Lobmeyr, de Vienne; malheureusement, nous en parlons comme d'un souvenir datant de 1878, qu'une visite plus récente à ses magasins de Vienne n'a fait que raviver. Nous avons vu là des objets surpassant de beaucoup les produits de Venise, comme couleur, comme forme, comme proportions, etc. Sauf quelques produits signalés plus haut, l'exposition d'Autriche-Hongrie ne donnait pas en 1889, au Champ de Mars, une idée bien exacte de ce que peut l'habileté technique de ses remarquables verriers de Bohême.

Nous avons à regret constaté, dans certains objets exposés, un mauvais goût indiscutable; à cet égard, nous citerons l'effet déplorable causé par des « broderies » de couleur posées sur des verres verts d'aspect désagréable. Puis ces imitations de marbres qui enlèvent au verre toute sa transparence sans lui donner la valeur artistique d'objets de porcelaine, auxquels on paraît vouloir à grand tort les assimiler, ou tout au moins les faire ressembler.

Pourquoi ne pas s'inspirer des modèles qui se trouvent dans les musées? Ainsi, entre autres sujets, voici (fig. 12) une reproduction d'aiguière qui peut être imitée avec avantage, et sur laquelle l'ornementation ne nuit pas, fût-elle en métal, or ou argent sur verre.

Dans la sous-section de l'Extrême-Orient, se trouvait l'importante collection du docteur Mène. Cette collection renferme une grande quantité d'objets d'art se rapportant à l'histoire rétrospective du travail en Chine et au Japon.

Au milieu de ces magnifiques objets, on admire un grand brûle-parfums à couvercle azuré, puis des aiguières, des colonnes, des écrans,

des divinités, des ornements divers en jade, en lapis-lazuli, en cristal de roche, en agate orientale.

Au premier étage, on remarquait des émaux cloisonnés japonais, de fabrication moderne, très remarquables, aussi bien par leur pureté de travail que par l'élégance des formes.



Fig. 12

Le jade étant un silicate d'alumine et de chaux (renfermant de la magnésie et du fer), nous sommes amenés à en parler ici.

La couleur du jade varie du blanc pur au vert-pomme ; certains échantillons ont la teinte de l'émeraude ; la variété blanche est la seule appréciée des Chinois qui ont un véritable culte pour cette matière. Les Chinois le tirent du Turkestan, de Kachgar ; la variété verte est com-

mune ; on en trouve de gros blocs dans le lit de certains fleuves en Sibérie. Le jade raye le verre et l'acier ; on le travaille et on lui donne le poli à l'aide de la poudre d'émeri et de diamant ; ce travail est excessivement lent et coûteux.

La vitrine de Mme Barbet renfermait, entre autres objets de jade, sept pièces remarquables :

Une coupe à libations en jade blanc, taché de vert clair, d'un travail très ancien ;

Un grand vase en jade blanc, avec taches de rouille, formé de deux cylindres accolés, travail de l'époque des Ming, vase du type de ceux consacrés à perpétuer le souvenir des personnages illustres.

Les vases d'époque plus récente sont plus jolis, plus gracieux comme forme ; on constate là l'influence de l'art persan ou de l'art européen. On voyait encore un vase de jade blanc très pur, couvert de feuillages et d'ornements finement sculptés, style persan, avec panse unie et col enveloppé du dragon, en relief. D'autres vases en jade blanc : l'un carré à arêtes ornées de dentelles saillantes à jour, de la forme des vases contenant le vin des sacrifices ; un autre carré, aplati, à frises ornées de pieds saillants et à anse grecque avec dragon enlacé ; un autre vase en jade verdâtre, couvert de dragons se détachant en relief, avec le sceau de l'empereur Kien-Long.

On remarque également des vases chinois, vases à thé en jade, dont la propriété consiste à rendre, quand on les frappe, un son comparable à celui du cristal ; ce son ne s'éteint pas progressivement, mais s'arrête brusquement au bout d'un instant.

On remarque également dans cette collection : une fleur de lotus en quartz transparent ; une branche de pêcher avec fruits en cristal incolore, et algue marine ; une boîte en cristal rose craquelé ; deux poissons, l'un rouge, l'autre vert, taillés dans une même pierre, pierre dont le fer était à deux degrés différents d'oxydation ; d'autres objets en serpen-

tine, un sceptre vert, et des caractères chinois de teinte jaune aux branchages en relief.

Si M. Gallé a vu ces collections nombreuses, nous pouvons nous attendre de sa part à des surprises à la première exposition ; il trouvera le moyen de surpasser les Chinois.

Les émaux transparents de MM. Ortchinnikoff et fils, de Moscou insérés et sertis dans le métal étaient fort remarquables.

Le prix élevé de ces objets ne les rend pas très accessibles et ne permet pas à tous les amateurs de s'en rendre acquéreurs. Ces émaux, diversement colorés et transparents, sont actuellement en grande faveur en Russie pour rehausser l'éclat des toilettes des dames. Depuis quelque temps et par suite de l'engouement résultant, pour les objets de provenance russe, du courant de sympathie qui existe entre les deux nations, cette mode tend à s'implanter en France. Il faut, d'ailleurs, reconnaître que l'emploi discret de ces émaux produit sur les étoffes de couleur sombre l'effet le plus gracieux.

VITRAUX

Le Catalogue officiel de l'Exposition de 1889, indiquait que cinquante et un exposants français et quinze étrangers ont soumis à l'examen du public des vitraux ou verres décorés de ce nom.

Nous avons compté environ trente-huit peintres verriers, dont vingt-huit français, trois belges, un anglais, deux américains et quatre suisses. En 1867, ce chiffre était bien supérieur; en 1878, il était plus du double.

Les peintres verriers semblent se désintéresser de plus en plus des

expositions où leurs œuvres sont placées généralement dans de mauvaises conditions d'éclairage, d'élévation et surtout de classification.

On devrait accorder aux vitraux une classification distincte, un jury spécial. Du reste, la peinture sur verre subit une transformation complète; loin de rencontrer la protection du gouvernement, les artistes sont obligés, maintenant, de soumissionner les travaux de restauration des vitraux appartenant aux monuments historiques, absolument comme s'il s'agissait de badigeonnage ou de maçonnerie.

Le caractère laïque du vitrail s'accentue de plus en plus; les habitations particulières luxeuses sont maintenant ornées de vitraux, ordinairement mauvais, à cause du prix que l'on accorde à des œuvres qui, pour être artistiques, sont nécessairement très coûteuses.

L'Exposition de 1889 offrait peu de vitraux remarquables; il a été permis cependant de constater, pour certains peintres anglais et français une remarquable habileté d'exécution.

En 1878, on trouvait des éléments d'études très importants dans l'exposition du vitrail; depuis, le verre lui-même — dont la fabrication a fait de réels progrès — a été mis plus en valeur; les cives, les cabochons produisirent certains effets nouveaux. En 1889, un verre d'aspect particulier, marbré, nacré, strié, voilé, dit verre « américain » a fait son apparition dans certains vitraux et l'effet produit, lorsque ce verre est employé avec discernement, avec discrétion, est des plus satisfaisants. L'inventeur de ce verre, M. Lafarge, a exposé entre autres, un vitrail à fond jaunâtre à petits feuillages et animaux bizarres, dont la coloration irisée est d'un effet charmant.

Les *Japoneries* de M. Carot dénotent chez cet artiste, une ingéniosité, une adresse, un talent particulier à ce genre de vitraux.

Le *Saint-Georges* de M. Bégule, de Lyon, — dans ce vitrail le verre américain est employé très judicieusement — a droit à tous les éloges comme style, coloration, dessin correct et franc.

Il est regrettable que tous les efforts dépensés dans l'énorme vitrail placé dans l'axe transversal de la Galerie des Machines, et représentant le *Char du Soleil*, ait produit ce store banal, indigne, à notre avis, du nom de vitrail.

La *Bataille de Bouvines*, œuvre de MM. C. Champigneulle et Frittel, renfermait des parties très satisfaisantes, comme, par exemple, le *Combat* figurant dans la salle où se tient le conseil de guerre de Valenciennes; ce n'est toutefois pas suffisant pour une pièce de cette importance, qui sera bien pâle lorsqu'elle sera examinée dans son cadre définitif.

On a vanté le travail de M. Oudinot, dessiné par M. O. Merson : *Jésus à table ayant à ses côtés les pèlerins d'Emmaüs*. Cette œuvre dénote, de la part de l'artiste, un talent consommé; mais nous préférons voir traiter par M. O. Merson des sujets moins religieux; les deux disciples du Christ pourraient être aussi bien placés dans tout autre cadre que dans celui-ci.

Oudinot avait exposé d'autres vitraux parmi lesquels il y a à constater de belles parties; pas un de ces vitraux n'offrait à notre avis, un tout bien satisfaisant et réellement remarquable. Au pavillon de la République Argentine, là où le verre a été employé à profusion pour différents emplois ornementatifs, il y avait un certain nombre de vitraux parmi lesquels il convient de distinguer l'intensité et l'harmonie de coloration de quatre paons; au milieu de cette ornementation, le verre américain produisait un effet remarquable.

La République française recevant la République Argentine à l'Exposition universelle de 1889, tel est le sujet d'une assez grande verrière placée en haut de l'escalier conduisant au premier étage de ce pavillon. Composition médiocre, aspect et couleurs heurtés ; en somme, peu de distinction d'ensemble : un garde municipal et son cheval occupent là une place trop considérable et nuisent aux autres personnages dont ils diminuent l'importance.

Nous avions remarqué aussi, au pavillon algérien, des vitraux de M. Didron, vitraux style arabe, très-colorés, à fond blanc et jaune ; ces vitraux d'un procédé d'exécution assez sommaire dû à M. Didron, qui consiste à tracer des rinceaux en pleine coloration et aux détails multiples, dont les tons variés se détachent sur un fond de préférence jaune ou blanc. Les fleurs et les feuilles dominent, le dessin est constitué par le plomb : or, cette matière servant de sertissure ne doit être employée que pour exprimer une forme. C'est donc une véritable vitrerie en plomb assez coûteuse par le travail qu'elle exige. Ces vitraux sont solides, à cause de la petite dimension des pièces de verre et à cause de la multiplicité des plombs.

Nous signalerons parmi les vitraux étrangers ceux de MM. Clayton et Bell, de Londres; colorations vigoureuses dans les uns, excellentes grisailles ; quelques figures saintes, et, entre autres, la tête de Sainte-Dorothée, puis la Vierge, donnent une haute idée du talent de ces artistes. MM. Stalins et Janssens, sujets religieux d'une bonne exécution. MM Hosch, de Lausanne, ont exposé une quantité de petits sujets dans lesquels on remarque un travail considérable de gravure, ressemblance avec les vitraux suisses du XVI[e] siècle.

VERRES A VITRES.

L'industrie du verre à vitre subit une crise, par suite de la diminution des exportations en Amérique. Cette crise se fait principalement sentir en Belgique.

En Amérique, le chauffage des fours par le gaz naturel a groupé les verreries dans le voisinage des endroits où ces gaz abondent et cela principalement dans le pays de « Pittsbourg. »

Les fours à cuve remplacent aussi, en Amérique, les fours à creusets et comme tout ce qui se fait dans le nouveau-Monde, ces fours ont, là-

bas, des dimensions colossales. Nous citerons entre autres le four de « Jeannette » dont les dimensions atteignent 130 pieds de longueur sur 30 pieds de largeur, constituant ainsi une sorte de lac de verre fondu dans lequel puisent d'une façon continue 50 ouvriers souffleurs.

Nous aurions désiré donner d'amples renseignements sur les fours de verrerie et spécialement sur les fours à bassin, mais l'un des auteurs étant de par la nature de ses fonctions, tenu à une certaine réserve, nous nous contenterons de faire connaître les appréciations d'un ingénieur — ami des auteurs — ([1]) s'occupant exclusivement en Amérique des fours de verrerie.

Nous lui laissons la parole :

« Étant donné qu'un four à bassin, pour une production déterminée, doit avoir une certaine surface exposée à l'action de la chaleur pour la fonte et l'affinage du verre, et que, depuis la partie du four correspondante à la zone de haute température, jusqu'aux ouvreaux de cueillage une certaine distance est nécessaire pour laisser au verre, pendant qu'il effectue ce trajet, le temps de se refroidir suffisamment, on arrive à pouvoir déterminer exactement les dimensions du four. Connaissant ainsi la production à obtenir, la grandeur de la surface rayonnante, et la valeur moyenne du combustible dont on fera usage, on détermine au moyen d'une formule (établie à la suite de nombreuses expériences) quelle devra être la section totale des entrées de gaz.

« La section des entrées de l'air, des brûleurs, la grandeur des générateurs, des valves, des conduits de gaz, les dimensions de la cheminée, la grandeur et le nombre des gazogènes, découlent directement de la section totale des entrées de gaz. »

« On a vu dans cet exposé, quelle importance les constructeurs de four de verrerie attachent à la composition chimique du combustible ; c'est qu'en effet la valeur du gaz, sa puissance calorifique, sont absolument

1 M. Pagnoul.

dépendantes de la nature de la houille ou autre combustible qui sert à le produire, et que d'autre part, le volume de gaz qu'il faut brûler pour obtenir un travail de fusion déterminé, est fonction du pouvoir calorifique de ce gaz.

« On a cherché à réduire la durée des opérations de fonte et d'affinage du verre en faisant usage d'un gaz plus riche, en éléments réellement combustibles, que le gaz produit par les gazogènes Siemens; c'est ainsi qu'on emploie, depuis quelques années, sinon en verrerie du moins dans quelques usines métallurgiques, un gaz composé en grande partie d'oxyde de carbone et d'hydrogène. Ce gaz, connu sous le nom de « gaz d'eau », est obtenu par la décomposition de la vapeur d'eau au moyen de coke incandescent, dans des gazogènes de forme spéciale dont nous donnons plus loin une description sommaire.

« On s'est beaucoup occupé dans ces dernières années de rechercher quelles sont les modifications que le gaz combustible peut subir avant sa combustion complète, modifications qui seraient le résultat de réactions se produisant entre les éléments constitutifs des gaz — hydrogène, oxyde de carbone, carbures d'hydrogène et acide carbonique, vapeur d'eau — pendant le passage du gaz dans les régénérateurs où le laboratoire même du four. On s'est demandé s'il n'y avait pas lieu de tenir compte des phénomènes de dissociation qui empêcheraient la combustion d'être complète dans le four même en raison de la haute température qui y règne ».

Voici ce que dit à ce sujet M. Pagnoul :

« L'hydrogène et l'oxygène ne traversent-ils pas le four sans se combiner, et leur combinaison ne se produit-elle pas dans les régénérateurs où la température le permet, ce qui aurait pour effet d'élever sensiblement la température de ceux-ci et de chauffer bien davantage les gaz qui les traversent.

« Ces gaz plus chauds dégageraient par cela même un plus grand nombre de calories.

Certains résultats pratiques semblent donner raison à cette manière de voir.

« Pendant le chômage de l'été dernier à Bridgeton, nous avons tenu le four chaud. La dépense était la même qu'en le faisant mourir. Pour le conserver à la température du rouge cerise (800 à 900°) il a fallu, dès le début et alors que les empilages étaient encore chauds, dépenser environ neuf tonnes de charbon par 24 heures. Après, cette quantité a augmenté un peu.

« Le tirage de la cheminée était réduit au minimum et toutes les ouvertures fermées et margées.

« Pendant les neuf mois de marche de la verrerie, aux Etats-Unis, on cesse le travail le samedi après midi pour le reprendre le lundi à une heure du matin. L'enfournement des matières premières cesse aussi pendant une grande partie de cet arrêt. On doit toujours naturellement tenir le four à la même température.

« De ces deux expériences, on peut conclure qu'environ les deux tiers de la chaleur totale sont perdus par le rayonnement et la cheminée. Il n'y aurait donc qu'un tiers d'utilisé. Je n'examinerai pas ici quel est le rapport entre la quantité de calories que pourrait développer théoriquement le charbon et la quantité utilisée par la fonte et l'affinage du verre ; je fais une constatation pratique. »

Grâce à l'emploi de ces fours à bassin, grâce à la récupération de chaleur des produits de la combustion, le prix de revient a subi une diminution notable. La qualité du verre s'est ressentie désavantageusement de cette production à outrance, et la teinte est devenue un peu plus irrégulière ; aussi certains fabricants ont-ils essayé de *décolorer* le verre par l'adjonction du peroxyde de manganèse, du nitrate de soude, etc.

On a été amené à fabriquer, dans le nord de la France, du verre non affiné, quelquefois même à peine fondu « calcin », cela dans des creusets percés à la partie inférieure d'un trou d'écoulement. Cette ouverture, fermée par un tampon métallique refroidi à l'aide d'un courant d'eau, permet de laisser couler le verre liquéfié et de le produire dans des conditions économiques satisfaisantes ; ce verre est ensuite vendu aux verriers, comme calcin, c'est-à-dire comme fondant.

VERRE PERFORÉ.

M. Émile Trélat a pensé que des vitres qui, en même temps qu'elles laisseraient passer la lumière pourraient distribuer l'air nécessaire à la ventilation dans un état de division et d'épanouissement suffisant, seraient préférables aux appareils de ventilation très imparfaits employés généralement dans les endroits publics, les hôpitaux, etc., puisque, par suite de leur transparence même et des nettoyages obligés auxquels on doit les soumettre, elles seraient dans les meilleures conditions pour assurer leur bon fonctionnement et leur efficacité.

M. Charles Herscher, ingénieur-constructeur, se faisant l'écho des desiderata de M. Emile Trélat, s'est chargé de leur exécution et s'est adressé à MM. Appert, pour leur fabrication.

MM. Appert ont pensé à faire les trous dans le verre en même temps que la feuille de verre elle-même, et en opérant par coulage et moulage.

Pour faire cela, on verse le verre liquide sur une table en métal garnie de saillies ayant la forme et l'espacement des trous que l'on veut obtenir ; on exerce sur ce flot de verre une pression suffisante pour l'amener à l'épaisseur voulue, déterminée par des règles de la hauteur nécessaire.

La pression peut être obtenue par un rouleau ou par une presse à mouler le verre, employée communément en verrerie.

Les verres qui sont présentés ici sont obtenus sous une pression de 50 kilogrammes par centimètre carré.

Au moment du moulage, les saillies qui doivent former les trous sont submergées par le verre liquide qui y a été versé; aussi, une fois le moulage terminé, les saillies du moule sont-elles recouvertes d'une mince couche de verre qui bouche les trous sur une de ses faces.

Cette couche de verre, dont on détermine l'épaisseur par la saillie des petits troncs de cône de la table, a une épaisseur d'un cinquième de millimètre environ et on peut en opérer le débouchage de plusieurs façons, soit au jet de sable, soit en la rongeant par l'acide fluorhydrique, soit par un foret tournant avec rapidité.

Ce dernier moyen est le plus expéditif : avec un foret de section hexagonale tournant avec une vitesse de 750 tours par minute, une ouvrière peut déboucher 2.000 à 2.400 trous à l'heure.

Cet ensemble de procédés a permis de diminuer les frais de fabrication de ce verrre et de le livrer au commerce à un prix suffisamment réduit pour en permettre l'emploi d'une façon très générale.

Ce verre peut être poli sur une ou deux faces par un procédé analogue à celui employé pour le polissage des glaces.

Dans les locaux où une ventilation permanente serait gênante, on met derrière le verre perforé un vasistas à charnière muni d'un verre plein, qu'on ferme à volonté.

Un petit dispositif très simple imaginé par MM Genest et Herscher permet, au moyen d'une tringle coudée, de fermer ou d'ouvrir ce châssis avec la plus grande facilité.

On peut encore superposer deux feuilles de verre perforé, et, par un faible mouvement de translation de l'une d'elles, égal au diamètre d'un trou, faire coïncider les trous des deux feuilles de verre, et produire la ventilation, qu'on interrompt par le mouvement contraire.

Ces verres sont employés pour la ventilation dans un grand nombre

d'endroits tels que : hôpitaux, salles d'étude des lycées et écoles, ateliers de filature, cabinets d'aisances, écuries, etc.

Ce verre peut servir pour d'autres usages, tels que pour clore les ouvertures des garde-manger, pour les tablettes supportant les aliments, en remplaçant avec avantage les toiles métalliques : les mouches en effet, ne peuvent passer par ces trous de 3 millimètres.

Il peut servir aussi pour des filtrations et des tamisages.

Une des grandes améliorations apportées à l'hygiène des habitations, il y a quelques trois cents ans, a été l'emploi du verre pour clore les fenêtres, permettant ainsi de faire entrer en abondance dans les pièces la lumière, cet agent d'oxydation par excellence ; l'emploi judicieux des *vitres perforées* en augmentera encore les bienfaits, puisqu'il donne la facilité d'y introduire simultanément ces deux éléments indispensables à l'existence humaine et à son entretien : l'*air* et la *lumière*.

VERRE D'OPTIQUE.

Les produits exposés par M. Mantois (successeur de M. Feil père) étaient remarquables.

Cette maison, dont la réputation est universelle, a fait de nouveaux progrès quant aux dimensions des disques obtenus pour les objectifs astronomiques.

Il y a des verres de densités considérables : 6,26.

Cette densité est démontrée au public par une disposition ingénieuse : un échantillon de 9,26 de densité contre-balançant un prisme de même forme, mais de dimension beaucoup plus considérable de 2,43 de densité.

Les disques pour objectifs astronomiques et photographiques de la fabrication de M. Mantois varient entre $0^m,47$ et $0_m,84$ et même $1^m,05$ de diamètre.

La fabrique allemande d'Iéna, subventionnée par le gouvernement prussien et qui a obtenu des verres de densités considérables, n'a pu fournir jusqu'ici des disques semblables à ceux de M. Mantois.

Le disque de $1^{m},05$ (Crown glass), qui doit faire partie de l'objectif de la grande lunette de Spence (destinée à l'Université de la Californie) qui pèsera environ 130 kilogrammes, a été taillé dans un bloc de Crown glass de 550 kilogrammes. Ce bloc est sorti du creuset le 28 janvier 1888, ce bloc de verre a été constamment en travail, cassé au marteau, puis scié, pour éliminer les parties défectueuses sur toutes ses faces; il a subi six phases distinctes qui ont donné lieu à neuf formes différentes d'aspect, de dimensions, de poids, qui toutes ont été photographiées et représentent un travail non interrompu pendant seize mois. Ceci est utile à indiquer et explique les difficultés vaincues et le prix représenté par une pièce semblable après son achèvement définitif et satisfaisant.

GLACES

Les dimensions des glaces à cette exposition sont supérieures à celles des expositions précédentes. La Compagnie Saint-Gobain (hors concours) tient toujours le premier rang, et par l'importance de son exposition et par la qualité et la dimension de ses glaces.

Certains produits des Compagnies belges ont été aussi très appréciés et récompensés, témoin les expositions des glaceries de Roux, de Floreffe (à Jeumont); puis Courcelles, Auvelais, Moustier, etc.

SAINT-GOBAIN

La Compagnie de Saint-Gobain exposait, classe 19 :

Une grande glace brute, $8^{m},10$ sur $4^{m},14$, superficie $33^{m},5340$; grand miroir plan pour télescope, diamètre $1^{m},30$, poids 900 kilogrammes;

grand miroir concave, diamètre $1^{m},60$, poids 450 kilogrammes; dalles brutes, coulées ou moulées, unies et à reliefs; pièces moulées diverses et tuiles en verre, pièces de phare et optique; verres de toiture unis et à reliefs, verres imprimés à reliefs (brevetés). Il est intéressant de comparer les dimensions des glaces de Saint-Gobain figurant aux expositions de 1806 et de constater aussi les progrès réalisés depuis cette époque dans cette industrie. (Voir page 39, fig. 13).

Chauny.

Grande glace polie de miroiterie en blanc, $7^{m},63$ sur $4^{m},10$, superficie $31^{m},2830$; grande glace argentée, $5^{m},34$ sur $2^{m},46$, superficie $13^{m},1364$; glace biseautée et argentée, premier choix, à répétition, $2^{m},07$ sur $1^{m},32$; spécimens variés de glaces en blanc et argentées, de différents choix et épaisseurs.

Cirey.

Grande glace argentée de $5^{m},19$ sur $3^{m},09$, superficie $19^{m},0371$; glace biseautée et argentée, à répétition, $3^{m},67$ sur $2^{m},28$; glace biseautée et argentée, premier choix, à répétition, $2^{m},07$ sur $1^{m},32$.

Montluçon.

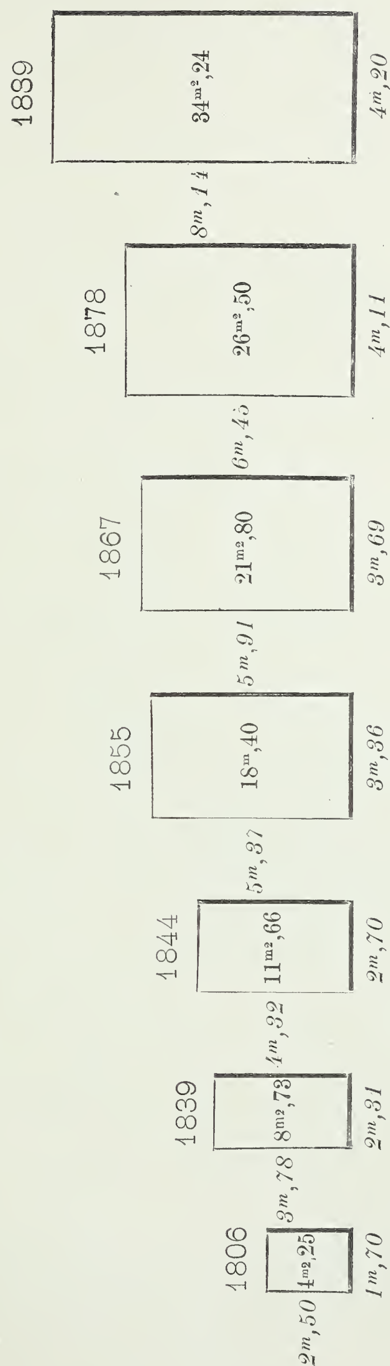
Grande glace argentée de $5^{m},07$ sur $3^{m},09$, superficie $15^{m},6663$; glace biseautée et argentée, premier choix, à répétition, de $2^{m},07$ sur $1^{m},32$.

CLASSE 63. — *Saint-Gobain.*

Glaces et dalles brutes pour toitures, revêtements et vitrages; verres coulés unis et à reliefs pour toitures et vitrages; dalles unies et à reliefs; pavés et tuiles en verre; pièces moulées pour le bâtiment; verres imprimés à relief (breveté).

CLASSE 64. — *Saint-Gobain.*

Glaces et dalles brutes et polies, pour tables de dissection, de labora-



Les Glaces de Saint-Gobain aux Expositions universelles Françaises de 1806 à 1889.

Fig. 13.

toire, revêtements et urinoirs ; pièces moulées pour caniveaux, égouts, sièges de communs, etc.

CLASSE 21.

Glace polie de vitrage, la plus grande produite jusqu'à ce jour $8^{m},14$ sur $4^{m},2062$, superficie $34^{m},24$.

La teinte des glaces, la qualité de la pâte, le travail de ces glaces étaient satisfaisants et démontrent que l'abaissement des prix de vente n'a pas nui à la qualité de ces produits.

La production des glaces a été sans cesse en augmentant depuis 1878. En Belgique, on produisait à cette époque :

Sainte-Marie-d'Oignies	60.000 à 70.000	mètres carrés
Floreffe	60.000 —	—
Roux	60.000 —	—
Courcelles	55.000 —	—
Auvelais.	35.000 —	—
En 1888, Sainte-Marie-d'Oignies fabrique.	100.000 mètres carrés.	
Floreffe	80.000 —	
Roux.	90.080 —	
Courcelles	100.000 —	
Auvelais.	70.082 —	
Moustier.	100.000 —	

En 1889, la production a été plus considérable encore, et les établissements de Sainte-Marie-d'Oignies et de Floreffe ont des succursales établies en France, à Recquignies, à Jeumont. La diminution des prix de vente a été constante depuis plus d'un siècle, et la production plus forte ne peut qu'accentuer ce mouvement vers la baisse.

Tarif des glaces de 1702 *à* 1889.

DIMENSIONS	1702	1802	1835	1856	1862	1884	1889
	livres	fr.	fr.	fr.	fr. c.	fr. c.	fr. c.
Glaces de 1 m. carré de superf.	165	205	127	61	47 75	40 38	30 23
— 2 — —	540	859	377	143	107 »	93 80	70 35
— 3 — —	1.000	1.648	757	248	186 »	160 »	102 »
— 4 — —	2.750	3.644	1.245	349	262 »	227 »	136 »

Pour les glaces de grandes dimensions, la baisse a été encore bien plus rapide.

Ainsi, une glace de 10 mètres carrés de superficie, qui coûtait, en 1873 1.200 francs, ne coûtait plus, en 1889, que 467 francs.

Les exportations de glaces belges pendant les six premiers mois de :

	1889 6 mois	1888 6 mois	1887 6 mois
Allemagne	89.432	58.633	183.833
Angleterre	1.929.423	861.653	912.898
Australie	72.600	119.000	88.050
Espagne	68.158	111.627	93.850
États-Unis d'Amérique	812.180	1.154.500	1.203.000
France	103.254	68.563	108.960
Hambourg	74.050	65.090	140.410
Pays-Bas	296.573	205.714	302.132
Russie	167.973	33.880	23.000
Autres pays	745.367	543.389	586.420
Total (francs)	4.359.102	3.252.050	3.580.958

En 1890, 5.000.000.

Les usines françaises de la Compagnie de Saint-Gobain exportent annuellement pour 4.000.000 de francs au cours actuel.

Les usines étrangères de la Compagnie exportent pour 3.000.000 de francs, soit au total 7.000.000, non compris les verres vendus bruts.

L'exportation des fabriques de glaces allemandes, étrangères à la Compagnie est d'environ 1.500.000 francs de glaces polies, nues ou argentées, épaisses.

Les glaces minces dites « glaces allemandes » ne sont pas comprises dans ce chiffre.

L'exportation directe ou indirecte des manufactures anglaises est plus difficile à connaître, nous ne l'évaluons pas à moins de 8.000.000 de francs.

Les produits moulés (verres bruts) et coulés, exposés bruts, par la diversité de leurs formes, invitent les architectes, les ingénieurs, à généraliser de plus en plus l'emploi de ces verres qui seront d'un

grand secours pour répandre la lumière dans les constructions et permettront d'utiliser plus convenablement bien des parties obscures des escaliers, cours, sous-sols, etc.

Nous avons constaté également des verres coulés, minces, à dessins

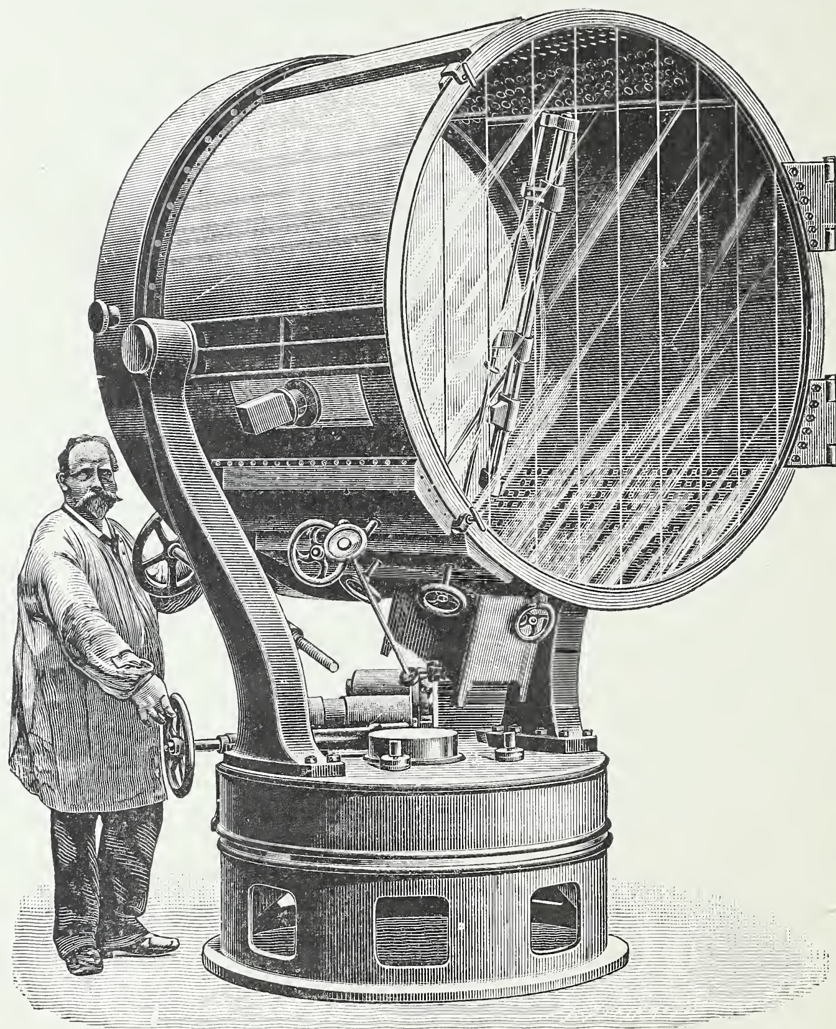


Fig. 14. — Projecteur Sautter-Lemonnier.

en reliefs (rolled plates) d'un nouveau dessin, mais d'un procédé anglais appliqué à Saint-Gobain.

Des verres matés, avec ou sans réserve, par jets de sable, d'un assez joli effet décoratif.

Puis des « hublots », pour la marine et une belle pièce formant vasque; une pièce semblable a été livrée à MM. Sautter et Lemonnier, et constitue le miroir réflecteur du phare tournant de la tour Eiffel.

C'est également à l'aide de lentilles et miroirs coulés à Saint-Gobain, que la maison Sautter-Lemonnier construit les projecteurs de lumière électrique, destinés aux usages militaires. Nous ne citerons que le projecteur monstre (fig. 14) de 1,500 de diamètre, l'une des curiosités de l'Exposition.

PRODUITS EXPOSÉS EN 1889 PAR LES GLACERIES D'ANICHE, JEUMONT ET RECQUIGNIES

Ces trois glaceries, d'Aniche, Jeumont, Recquignies, émules de celles de la Compagnie de Saint-Gobain, avaient fait une exposition collective de leurs glaces argentées, sous le nom de glaces de la Chapelle; elles en avaient formé un salon où les effets de répétition étaient très satisfaisants.

L'usine d'Aniche avait exposé une glace nue de $3^m,25$ sur $3^m,71$, sa glace argentée avait $5^m,17$ sur $3^m,57$.

Ces glaces étaient d'une bonne couleur et d'un bon affinage, bien planes et d'un poli satisfaisant.

A côté de son exposition de verre à vitres très remarquable, elle avait exposé une série de disques épais, de dimensions graduées, d'une belle fabrication.

A la glace qu'avait exposée l'usine de Jeumont, de $5^m,85$ sur $3^m,63$, était jointe une glace nue de $6^m,02$ sur $3^m,50$. Ces glaces étaient également de belle fabrication, comme teinte de verre, affinage et poli.

Dans son exposition particulière, elle montrait des spécimens variés de verres moulés et coulés tels que dalles, verre brut pour toiture et

vitrage, pièces accessoires de télégraphie, etc., témoignant de la bonne organisation de cette fabrication relativement nouvelle pour elle.

Recquignies, en dehors de sa glace argentée de $5^m,07$ sur $2^m,76$ avait exposé une glace nue extra-épaisse de $5^m,05$ sur $3^m,30$; la couleur de ces glaces était un peu moins satisfaisante que celle des glaces exposées par les glaceries qui s'étaient groupées avec Recquignies.

SITUATION ÉCONOMIQUE ACTUELLE DE LA FABRICATION DES GLACES

Le lecteur a pu se rendre compte, par les chiffres donnés plus haut, de l'importance, toujours croissante, de la production des glaces.

Malgré l'abaissement des prix de vente, conséquence naturelle de cet accroissement de production, la fièvre des glaceries ne semble pas éteinte, et la création de nouvelles manufactures n'est pas invraisemblable.

On se demande cependant si de pareils projets ont quelque chance d'aboutir, étant donnée la situation réelle de cette industrie naguère si florissante.

La vérité, c'est que les usines les mieux outillées vendent leurs glaces à perte, sur la plupart des marchés, malgré les efforts qu'elles font pour abaisser le prix de revient aux dernières limites.

La diminution du prix de revient que permet de réaliser une fabrication intensive est absolument insignifiante, en comparaison des sacrifices consentis sur le prix de vente, pour assurer l'écoulement d'une production manifestement exagérée.

On l'a très bien vu en avril 1893, où les stocks ont pu être réduits, mis au prix de quelles concessions et avec quels résultats pécuniaires!

Il y a six ans, on fabriquait en Europe 2.400.000 mètres carrés de glaces polies annuellement dans 23 usines.

Les moyens de fabrication actuels atteignent 3.600.000 mètres par an, grâce à la création simultanée de cinq glaceries nouvelles, et au développement des anciennes, sauf peut-être en Angleterre.

La Belgique seule entre pour 550.000 mètres dans toute cette augmentation.

Pendant la même période, la fabrication des glaces prenait aux États-Unis, un prodigieux essor, faisant passer la production de 500.000 mètres carrés, répartie entre 6 usines à 1.200.000 mètres, répartie entre 13 usines, avec la possibilité de fabriquer beaucoup plus, si la consommation indigène l'exigeait.

Alors que le marché des États-Unis échappe de plus en plus aux glaceries européennes, la crise économique qui sévit dans l'Amérique du Sud, l'élévation des droits de douane en Russie, en Danemark, en Espagne, en Italie, en Autriche-Hongrie ont restreint la consommation, et rendu l'exportation des pays producteurs de moins en moins rémunératrice.

BLOCS ISOLATEURS POUR CHEMINS DE FER ELECTRIQUES.

Un chemin de fer électrique (City and South London railway) relie, par une communication urbaine et souterraine, les quartiers de la rive droite avec les abords du pont de Londres.

Ce chemin de fer, d'une longueur concédée de 6.200 mètres et dont les travaux, entrepris il y a quelques années, sont maintenant presque complètement achevés, a été inauguré le 4 novembre 1890.

Le chemin souterrain est constitué par deux tunnels indépendants : dans l'un circulent les trains montant, dans l'autre les trains descendant. Ces tunnels ou tubes de 3 mètres ou $3^{m},20$ de diamètre sont placés à 20 mètres au-dessous du niveau du sol des rues.

Sur les parois de ces tunnels, sont fixés les tuyaux qui conduisent jusqu'à l'extrémité de la ligne, l'eau sous pression qui sert au fonctionnement des ascenseurs de chaque station ; les câbles isolés à enveloppe de plomb amenant le courant électrique de l'usine courent le long des parois de chaque tube.

Enfin, deux banquettes en maçonnerie sur lesquelles reposent les traverses et les rails, sont établies d'une extrémité à l'autre de chaque tunnel et permettent la circulation des agents et la sortie des voyageurs en cas de détresse ou d'accident survenu à un train (fig. 15).

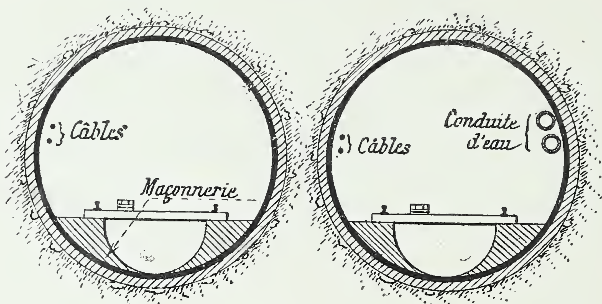


Fig. 15.

La ventilation est parfaite ; le passage des trains circulant toujours dans le même sens produit en effet un courant d'air suffisant à l'aération, il n'y a pas de ces nuages de fumée si nuisibles dans certains tunnels un peu longs.

Voie. — Les rails sont du type Vignole et d'un poids de 30 kilogrammes le mètre courant ; leur longueur est de 7_{m},50 ; ils reposent sur des traverses en bois non préparé.

Le conducteur qui amène le courant aux locomotives électriques est constitué par une barre d'accès ayant la forme d'un U (fig. 16) et une section d'environ 570 millimètres cubes. Les assemblages bout à bout de ce conducteur sont faits avec des éclisses en cuivre. Ce conducteur, placé à 0 ,35 du bord intérieur de l'un des rails, est isolé du sol au moyen de blocs en verre brut d'une forme spéciale (fig. 17 à 19) fixés

sur chaque traverse au moyen de deux cales en bois vissées (fig. 20).

Pour que la force électro-motrice reste sensiblement constante tout le long de la ligne et que la perte, par suite de résistance du conducteur, ne soit pas trop considérable, la voie porte, en outre, quatre conducteurs en cuivre reliés au rail central de distance en distance, composés chacun de 61 fils de 2 millimètres et recouverts de plomb avec une isolation tellement parfaite que la perte sur toute la ligne n'est pas de plus d'un ampère.

Le retour se fait par les rails latéraux.



Fig. 16.



Fig. 17.

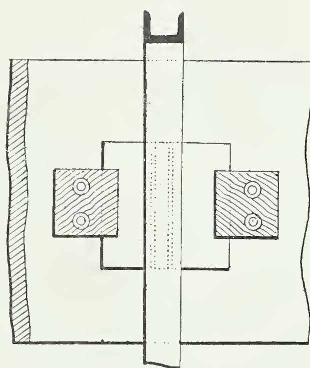


Fig. 20

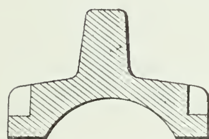


Fig. 18.

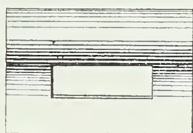


Fig. 19.

La voie ne comporte pas de ballast, afin d'éviter la projection et l'entraînement de la poussière. Par contre, il en résulte, lors du passage d'un train, un bruit intense se répercutant au loin dans les tunnels. Il faut, d'ailleurs, ajouter que les voyageurs n'en sont nullement gênés, si on a soin de fermer les portes extrêmes des voitures du train.

Aux stations, les quais en bois sont à la même hauteur que le plancher des wagons, comme cela existe d'ailleurs dans la plupart des gares anglaises.

Au passage sous la Tamise, la voie a une pente de 30 millimètres par mètre avec des courbes de rayon d'environ 50 mètres. Le train prend alors un mouvement très accentué d'ondulation dans tous les sens qui n'incommode pas les voyageurs, mais qui est particulièrement curieux.

Enfin, la ligne se termine par des heurtoirs dont les tampons sont rendus élastiques par la pression hydraulique déjà utilisée pour le fonctionnement des ascenseurs des stations [1].

AUTRES APPICATIONS ELECTRIQUES DU VERRE.

Les demandes sont incessantes de bacs, cuves, crémaillères, supports ronds, carrés, plaques, dalles de toutes formes et dimensions que l'on demande en verre.

La plupart de ces demandes reçoivent une solution à l'avantage du verre.

C'est ainsi que par les procédés de moulage que nous décrivons plus loin, et qui sont dûs à M. L. Appert, on est arrivé à Saint-Gobain à fabriquer des cuves en verre, de toutes dimensions pour accumulateurs d'électricité. On peut dire que c'est surtout dans cette application que le verre a sa véritable place. On y utilise en effet ses principales propriétés : transparence, non conductibilité électrique, résistance à l'action des liquides acides.

Plaque à rainaires pour accumulateurs



Fig. 21.

Isolateurs

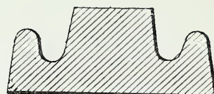


Fig. 22

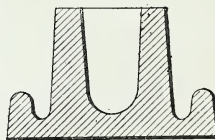


Fig. 23.

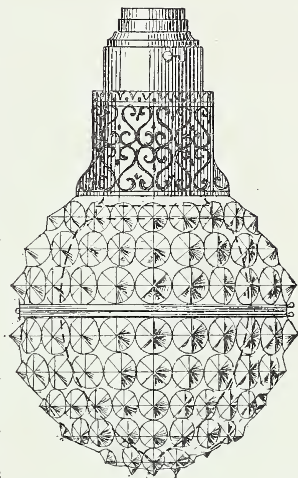
Dans le même ordre d'idées on fabrique, pour boîtes d'acccumulateurs des plaques à rainures permettant la libre circulation des liquides

1. *Revue générale des Chemins de fer 1891*, page 89, veuve C. Dunod, Paris. Note de MM. Eug. Sartiaux et Cosmann, *sur le Chemin de fer électrique de Londres.*

(fig. 21), des isolateurs présentant les formes les plus variées et dont nous donnons deux spécimens (fig. 22 et 23).

Comme application moins directe à l'électricité, nous dirons un mot des enveloppes de lampes à incandescence.

M. Henrivaux a eu l'idée, pour atténuer l'intensité de la lumière par incandescence et ajouter à l'effet décoratif, d'entourer les lampes d'une enveloppe constituée par de petits morceaux de verre, colorés ou non, taillés en rose et sertis dans les mailles d'une garniture métallique formée de deux demi-sphères pouvant s'ouvrir pour livrer passage à la lampe, puis maintenus au contact par un ressort (fig. 24).



L'effet produit est des plus gracieux pour l'éclairage des salons, où il devient possible de multiplier les foyers lumineux, sous forme de lustres ou d'appliques, et de répandre aussi, à profusion, une lumière douce, aux reflets les plus chatoyants.

A l'inverse, quand on veut obtenir des lampes, leur rendement maximum et concentrer la lumière sur un point déterminé, on donne à l'enveloppe, en verre blanc, la forme des réflecteurs en usage pour l'éclairage des phares.

Application du verre à la décoration et à la construction des maisons d'habitation.

RIDEAUX EN VERRE.

On a songé à utiliser le verre pour la décoration des appartements, en faisant des rideaux destinés à remplacer les rideaux d'étoffe ou de mousseline qu'on pose devant les fenêtres pour se garantir des regards des voisins.

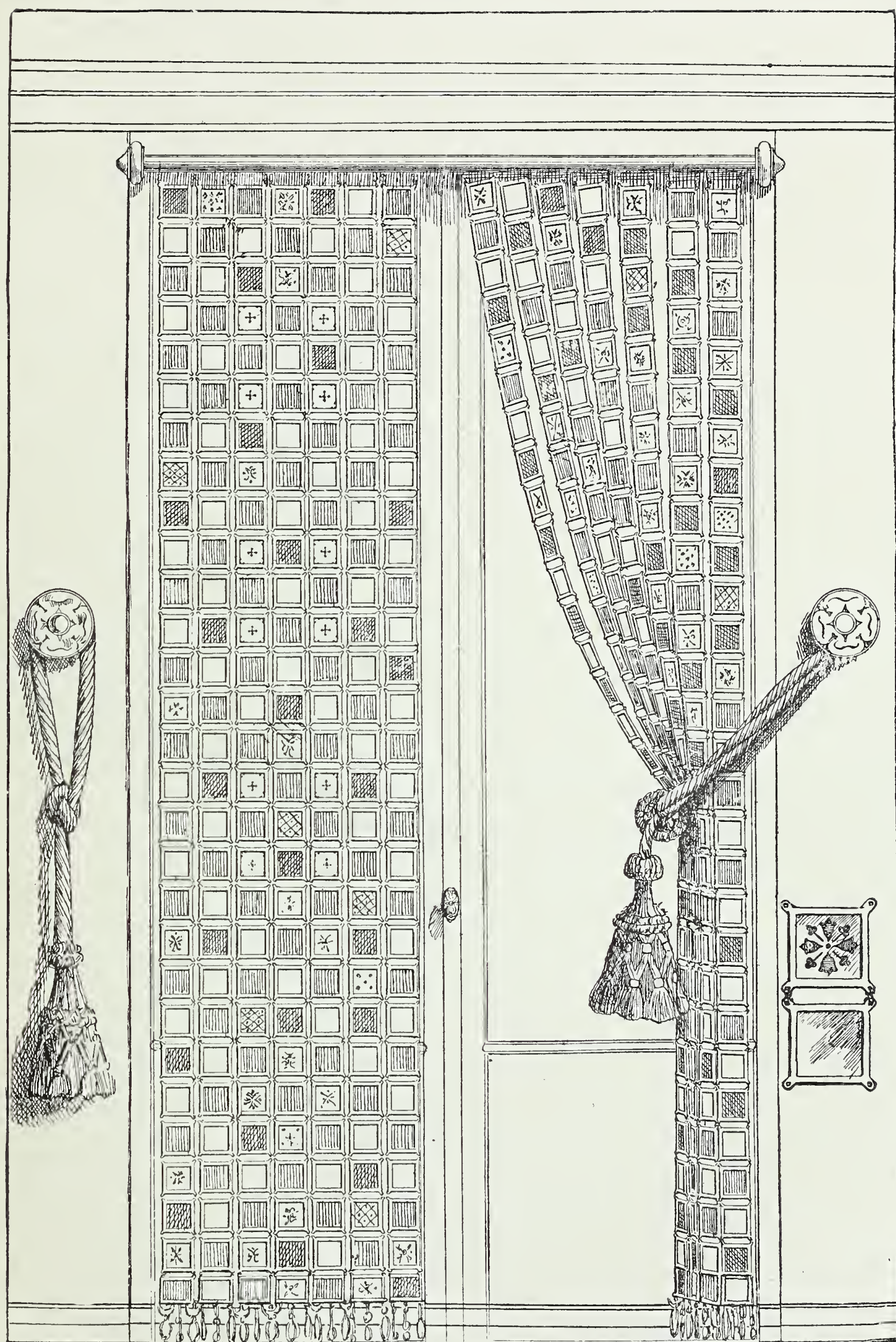
Ces rideaux, faits avec de petits morceaux de verre, uni ou agrémenté de dessins, blanc ou de couleur, ont plus de transparence que les rideaux en étoffe et peuvent donner, en employant des couleurs judicieusement choisies, des effets analogues à ceux des vitraux ordinaires mis en plomb.

Ces morceaux de verre sont encadrés chacun dans du zinc et reliés entre-eux par leurs angles au moyen de petites agrafes en forme de crochet ou en S, ce qui leur donne une souplesse permettant de les relever, de les plier et en même temps de les allonger ou les raccourcir dans le cas de déplacements.

Ces rideaux sont placés généralement dans les antichambres, les salles à manger, les vérandahs, etc.

On peut généralement obtenir des rideaux de fenêtres — petits rideaux — en glissant dans des cordonnets indépendants les uns des autres, et verticaux, des perles de verre *maintenues par des nœuds faits aux cordonnets,* c'est ce qu'a fait M. Henrivaux.

Les perles étant de moyenne grosseur, de colorations diverses, peu foncées, et très espacées entre-elles, on en obtient de beaux effets; la lumière entre dans les appartements avec intensité, et c'est là encore



un complément nécessaire pour obtenir les détails de la maison idéale au point de vue de l'hygiène ; la maison de verre dont nous parlons plus loin.

MAISON DE VERRE.

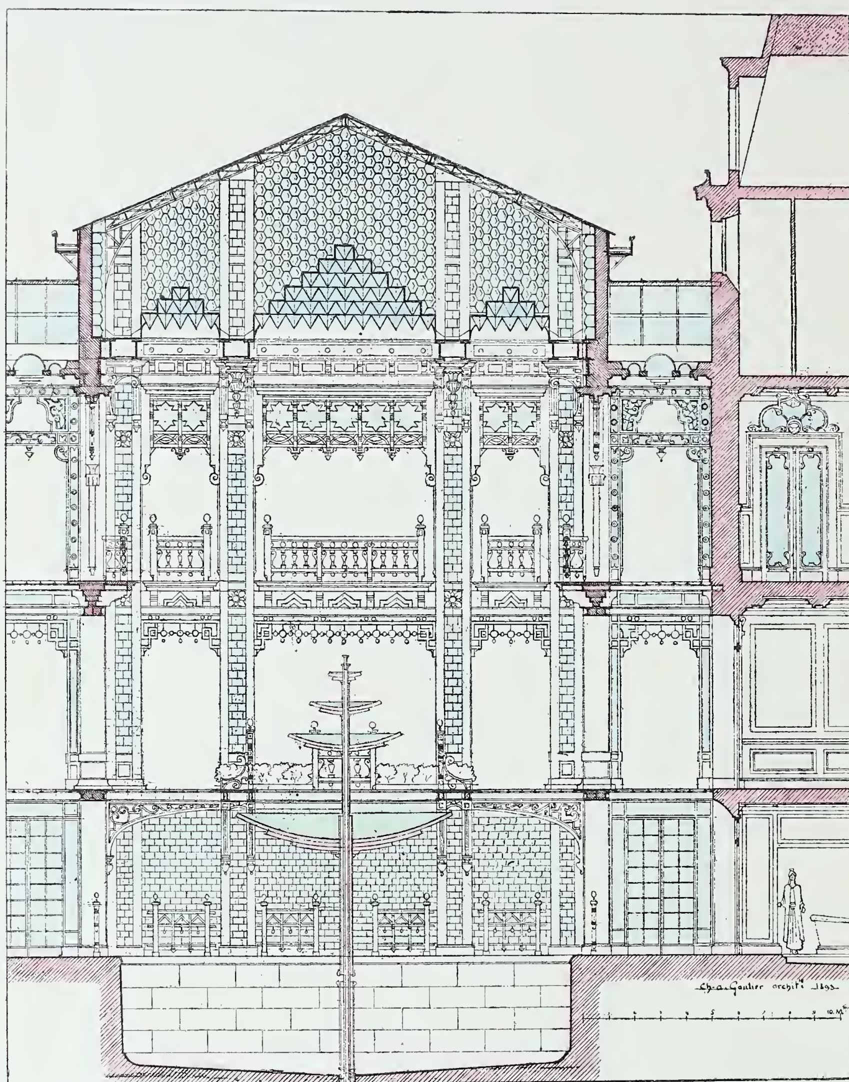
M. Ch. A. Gauthier l'habile architecte, auquel l'Exposition universelle de 1889 a procuré l'occasion de donner de nouvelles preuves de son talent original et primesautier, a bien voulu nous fournir une étude intéressante de l'emploi du verre dans la construction, sous les formes les plus diverses et souvent les plus inattendues.

Il peut être instructif de rappeler les progrès successifs que le verre a permis de faire accomplir aux conditions de l'habitation, en les modifiant d'une façon conforme aux mœurs et aux habitudes modernes.

Le verre n'a été employé tout d'abord dans la construction que comme objet de décoration ; il permettait en effet d'obtenir des images polychromes du plus brillant éclat dont les vitraux des XIe XIIe et XIIIe siècles, qui nous restent, et sont en France les spécimens les plus intéressants.

De son emploi dans la composition des vitraux, à celui beaucoup plus étendu qui peut en être fait pour l'obtention des pièces destinées à éclairer les habitations, il n'y avait qu'un pas que le prix élevé du verre plan de dimensions suffisantes n'a permis de franchir que tardivement.

Les progrès réalisés dans la seconde moitié de ce siècle, en permettant de fabriquer le verre et de le fournir économiquement sous les formes les plus variées et dans des dimensions beaucoup plus considérables ont rendu possible son application à la fabrication de pièces de construction auxquelles il eût été impossible de penser jusque-là. Nous voulons parler en particulier des planchers et toitures, ou employé en



Comble. — Parties rampantes, exécutées en fer et verre. — **Pignons**, exécutés en fer et briques de verre.

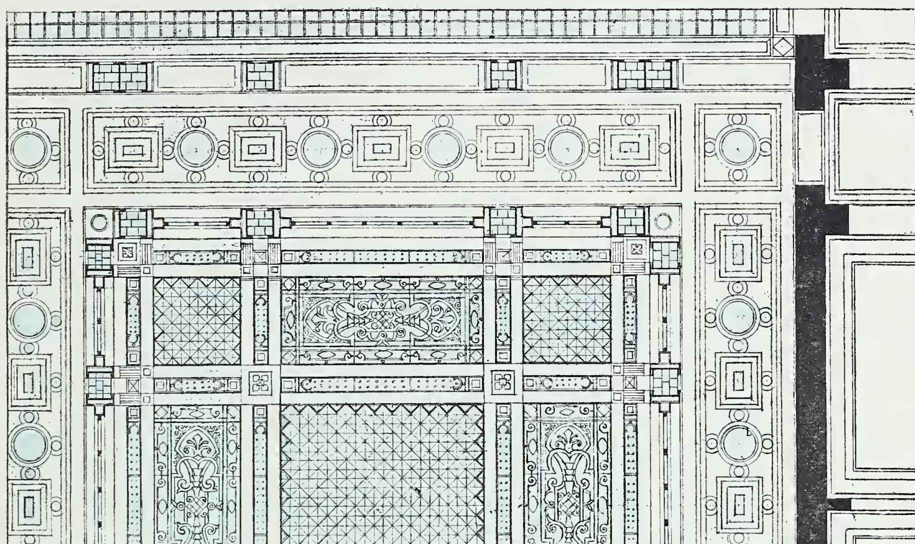
Plafonds transparents de la cour, exécutés en verres de couleur et fer avec parties pendantes pouvant éclairer électriquement.

Plafond transparent du portique, exécuté en verres de couleur et menuiserie.

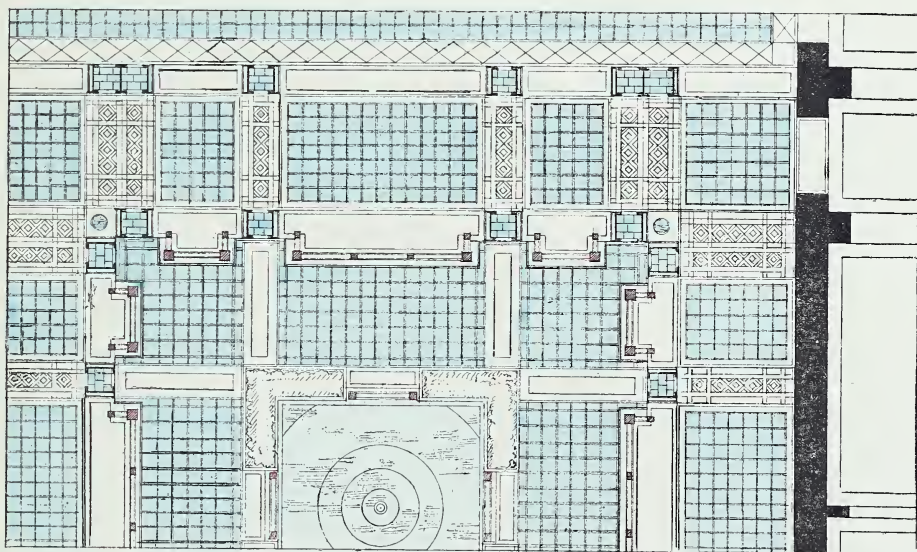
1er étage. — Cour intérieure et portique : Pans de fer avec remplissage en verre, décoration en verres de couleur et menuiserie ajourée, revêtements en verres de couleur, plancher en fer et verre.

Rez-de-chaussée. — Cour intérieure et portique : Vasques d'épandages avec adduction d'eau par tuyaux en verre. — Pans de fer avec remplissage en verre, décoration en verres de couleur, revêtements en verre, plafond et planchers en fer et verre.

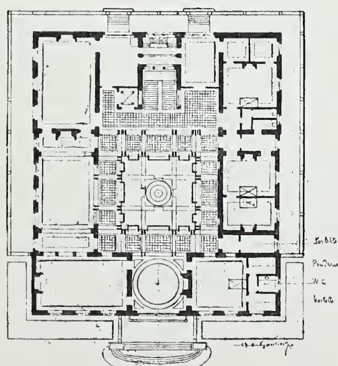
Sous-sol. — Piscine avec adduction d'eau par tuyaux en verre. — Vasques d'épandage en verre. — Salles de bains, salon de repos avec revêtements en verre, cloisons mur et plafond en fer et verre.



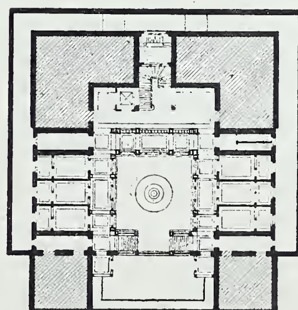
Plafonds en fer et verre du portique dn premier étage et de la cour.



Planchers en fer et verre du premier étage et du rez-de-chaussée.



Plan du 1er étage (réception et habitation).



Plan du sous-sol (piscine et bains).

épaisseur suffisante et de forme convenable, le verre permet à la lumière de s'introduire dans les profondeurs les plus reculées et jusqu'ici le plus souvent inaccessibles.

Pour la construction des murs on emploie le verre, soit en masses compactes, soit en pièces soufflées et formées de façon à en permettre un assemblage facile dans une carcasse de fers d'angles réunis entre-eux par des bandes de fer plats. Les briques ou dalles de verre sont posées verticalement, adossées et jointes à l'aide de mastic. On constitue de cette façon une double paroi dans l'intérieur de laquelle on fait circuler, l'hiver, de l'air chaud ; et l'été, de l'air comprimé qui s'y détend et provoque le refroidissement.

Dans ces parois, sont généralement logés les fils électriques et téléphoniques, les conduites d'eau, etc.

Par l'emploi de matériaux en verre, on obtient des surfaces lisses et inaltérables, d'un nettoyage facile, en même temps qu'un isolement parfait qui place les habitants à l'abri des variations de température de l'air extérieur.

On fait en outre, des canalisations de toutes espèces, utilisées soit pour l'adduction de l'eau, soit pour l'évacuation des liquides résiduaires de toute nature.

M. Ch. A. Gauthier a rassemblé, dans les plans ci-annexés, les diverses applications dont il vient d'être question, en les groupant de façon à montrer l'intérêt qu'elles présentent au point de vue de l'hygiène et de la commodité.

Partout l'air, la lumière, les lavages rendus faciles, les impuretés des parois rendues visibles, telles sont les conditions que l'emploi du verre permet seul de réaliser et qui établissent bien nettement le rôle que peu et doit jouer le verre comme coopérateur et agent principal de l'hygiène.

Une application du genre de celle dont nous venons de parler a été

faite récemment par M. le docteur Van der Heyden, médecin hollandais, établi depuis plusieurs années au Japon.

Il a eu l'idée d'utiliser la propriété que possèdent les solutions salines de laisser passer les rayons lumineux à l'exclusion des rayons calorifiques provenant d'une source lumineuse quelconque.

Pour cela il divise les murailles de sa maison de verre en panneaux métalliques dans lesquelles on enchasse de doubles plaques de verre, de façon à former des cloisons étanches, qu'on remplit de la solution saline convenable, d'une façon analogue à celle dont l'eau est introduite dans un aquarium.

Des cheminées d'aérages convenablement disposées servent à la ventilation d'hiver et à celle d'été.

Cette application est intéressante, car on comprend que de semblables constructions permettent de rendre de grands services dans les pays chauds, où une différence de quelques degrés serait très utile et très favorablement appréciée.

On n'a aucun renseignement sur le nombre des applications qui ont pu en être faites.

CHEMINÉES EN VERRE.

Nous avons les voitures en carton, les tours en fer, voire même les maisons de verre, mais il manquait les cheminées du même genre.

Nous les avons.

Sous peu les habitants de Douai vont voir les établissements Arbel posséder pour leur nouvelle installation de colossales cheminées en verre.

Ces cheminées sont plus légères, coûtent moins cher et celà permet d'utiliser un sous-produit industriel sans valeur jusqu'ici. Triple avantage.

Cette matière, qu'on n'avait pu encore utiliser qu'imparfaitement, est le laitier; ce résidu qui s'écoule continuellement des hauts-fourneaux et qui a l'aspect de verre noir d'une qualité vitreuse imparfaite.

On coule le laitier sous forme de blocs qui seront reliés par un mortier de ciment de composition spéciale, ce qui permettra de se passer des chaînes et cercles de fer, nécessaires pour les cheminées en briques.

LE VERRE GIVRÉ.

Le verre givré est ainsi désigné parce qu'il reproduit les dessins ramifiés que la gelée fait naître sur les vitres des appartements et que l'on nomme *fleurs de glace.*

Le procédé employé pour obtenir ce verre est des plus simples. Il consiste à enduire la surface du verre, préalablement dépoli au sable, d'une matière spéciale formant vernis, qui pénètre dans les cavités du verre dépoli. Les feuilles de verre ainsi enduites sont alors mises dans une étuve ou même simplement au soleil, en été; sous l'influence de la chaleur, l'enduit se séchant et se contractant fortement, éclate en petites écailles, enlevant avec elles une très légère partie de la surface du verre.

A la place de chaque écaille, le dépoli se trouve enlevé et il se produit comme une petite cristallisation, par la cassure du verre; ces différentes cristallisations ou cassures, se faisant dans tous les sens, forment un ensemble rappelant exactement l'effet des verres givrés par le froid.

Le dessin ainsi formé peut être très petit si la couche d'enduit a été mince, et le dessin de la cristallisation offre des formes d'autant plus

grandes, dans une certaine limite cependant, que les couches d'enduit ont été plus nombreuses.

On peut aller jusqu'à six couches, et, à ce point, le verre se trouve presque dédoublé, si on a opéré sur du verre simple.

Ce même procédé peut être également employé pour les verres colorés: l'enduit en sèchant, enlève l'émail coloré dont la couche est uniforme, et on trouve alors, dans ce verre givré, des colorations de demi-teintes d'un gracieux effet.

Les verres ainsi givrés, tout en permettant à la lumière de pénétrer, ne laissent rien voir par transparence.

L'application de cette invention est donc tout indiquée dans les vitraux mis en plomb, non d'une façon uniforme, mais en encadrement, petits paneaux, motifs réguliers, en même temps que les différents verres, peintures, etc., en usage chez les peintres verriers. On peut ainsi obtenir des effets nouveaux et agréables.

En dorant ou argentant ces verres givrés à la face opposée, on obtient l'apparence d'émaux de toutes couleurs, suivant les verres colorés employés.

Dans ces ces conditions ils peuvent être employés dans les décorations des plafonds, motifs placés dans les corniches, frises d'encadrement, chambranles, cadres de glaces, etc.

Par le même procédé, l'effet de cristallisation peut être obtenu sur des globes d'appareils à gaz.

CUVES A VIN.

Depuis plusieurs années, on emploie le verre avec succès pour garnir les parois des réservoirs dans lesquels est conservé le vin, soit au moment de la fabrication, soit en attendant d'être vendu.

On découpe pour cela dans des glaces brutes d'une épaisseur de 11 à 22 millimètres des carreaux de dimensions appropriées aux parois qu'on a à recouvrir et qui, généralement, sont de 50 sur 50 centimètres.

On noie les carreaux dans un bain de mortier de ciment de Portland à prise demi-lente, posé comme enduit le long des parois en maçonnerie, en ayant soin que les bulles d'air qui pourraient être emprisonnées entre le mortier et le verre soient expulsées complètement.

Les revêtements en verre sont d'un nettoyage facile et l'on sait qu'il n'en est pas de même des cuves garnies simplement de ciment, et même des foudres en bois qu'il est très difficile de nettoyer d'une façon irréprochable, les surfaces rugueuses ou poreuses du ciment ou du bois restent, quelles que soient les précautions prises, des organismes susceptibles d'amener des fermentations accessoires.

On évite aussi aux vins de leur laissser prendre le goût de terre ou de pierre qu'occasionnerait souvent l'emploi de ciments ou de carreaux vernis.

L'emploi du verre s'étend de plus en plus, et nombreux sont les objets, même d'usage domestique, qu'on fabrique maintenant en verre.

C'est ainsi qu'on fait des pièces moulées de grandes dimensions pour tables, guéridons, dessous de plats, encriers, qui, par la facilité que présente le verre, de donner au moulage des dessins fins et variés, permet d'obtenir des pièces très décoratives à très bas prix.

La Compagnie de Saint-Gobain fabrique depuis quelques années des pièces moulées qui sont irréprochables.

Sous ce rapport, il y a là un grand progrès accompli, dont profitera l'art de l'ingénieur, au point de vue de l'extension des emplois du verre dans les constructions.

Nous terminerons ce chapitre en disant quelques mots d'une application nouvelle du verre. La Compagnie des chemins de fer du Nord a

imaginé de remplacer les ventilateurs en bois des voitures de 1re et de 2e classes par deux plaques de verre ajourées et superposées.

Par leur glissement facile et leur transparence, les nouveaux ventilateurs améliorent les conditions d'hygiène dans lesquelles sont placés les voyageurs, en assurant l'efficacité de la ventilation et en permettant à la lumière de se répandre plus abondamment.

EMPLOI DES VERRES COULÉS POUR LA CONSTRUCTION DES SERRES.

Les nouveaux droits votés par la Chambre des députés pour protéger la culture forcée des primeurs ont eu pour conséquence de créer en France une nouvelle industrie pour laquelle conviennent parfaitement les verres coulés plus épais et par conséquent plus résistants aux intempéries, et retenant davantage la chaleur interne des serres dans lesquelles on pratique ces cultures.

Un préjugé condamnait jusqu'ici l'emploi de ces verres épais, sous prétexte que les rayons lumineux ne traversaient pas ces verres aussi facilement que le verre à vitres plus mince. C'était là un simple préjugé, et les essais que nous avons faits à ce sujet, montrent que notre assertion est exacte.

Il faut ajouter que ces verres coulés, à épaisseur égale, sont moins colorés que le verre à vitres, et que, s'ils sont à peu près semblables, à l'aspect, comme coloration, cela est dû à leur épaisseur plus forte que celle du verre à vitres, c'est-à-dire du verre soufflé.

Nous croyons devoir donner ici un tableau qui sera utile aux constructeurs.

	DILATATION	ÉLASTICITÉ							
	COEFFICIENT de dilatation linéaire pour un degré et pour les températures comprises entre 0 et 100°	COEFFICIENT d'élasticité	CHARGE à la limite d'élasticité kg par cm²		CHARGE OU COEFFICIENT DE RUPTURE kg par cm²			
			Traction	Compression	Traction	Compression	Cisaillement	Flexion
Verre Saint-Gobain . .	0,0000089	800.000	»	»	»	1700	»	250
Cristal français. . . .	0,0000087	»	»	»	»	»	»	»
Fer	0,0000118	2.000.000	1640	1650	3800	3000	2900	4800
Fonte.	0,0000107	1.000.000	600	1600	1300	7800	»	2900
Acier moyen	0,0000110	2.200.000	3400	3100	5500	6700	4600	7200
Cuivre rouge	0,0000185	1.160.000	300	»	2300	5700	»	2400
Laiton	0,0000180	1.000.000	400	»	1250	9000	»	1450
Bronze	0,0000185	690.000	400	»	2300	»	»	»

En ce qui concerne l'élasticité le tableau ci-dessous donne les limites de charge à compression admissibles dans la construction.

kg par cm²

Verre . . . . 75 kilogrammes
Tôle de fer . . . . 750 »
Fonte. . . . . 500 »
Acier fondu . . . . 300 »

VERRES SOUFFLÉS. — BOUTEILLES.

De grands progrès ont été réalisés dans la fabrication du verre à bouteilles. Le verre est plus limpide, moins bulleux qu'il y a quelques années, et la régularité d'épaisseur est bien supérieure à ce qu'elle était autrefois ; témoins les bouteilles de la verrerie de MM. Deviolaine, qui étaient exposées en certain nombre en 1889, coupées dans le sens longitudinal, ce qui permettait de constater cette uniformité d'épaisseur. Les procédés de soufflage à l'air comprimé, dont nous dirons quelques mots plus loin, le mode de fonctionnement des moules, leur forme, ne sont pas étrangers à cette amélioration de la fabrication.

Nous avons admiré la multiplicité des produits de certains exposants, parmi lesquels nous citerons MM. Richarme, de Rive-de-Gier.

Les études faites par M. Salleron, sur la résistance des bouteilles, ont permis de constater l'importance de la pression que peuvent supporter les bouteilles.

D'après Maumené, « les bouteilles à champagne arrivant de la verrerie sont très souvent capables de résister à 30 atmosphères, pendant les 2 ou 3 minutes que dure un essai, et l'expérience prouve qu'une bouteille, dans laquelle le gaz acide carbonique parvient à développer 8 atmosphères pendant quelques temps, est une bouteille perdue ».

D'après les essais auxquels MM. Pol Roger et Ce, d'Epernay soumettent les bouteilles, ces Messieurs sont amenés à éliminer les bouteilles qui ne résistent pas à la pression intérieure constante de 17 atmosphères. Cet essai des bouteilles s'effectue à l'aide d'un appareil imaginé par M. Salleron (élasticimètre, fig. 26), que nous recommandons.

Le verre est, en effet, un corps élastique et, sous l'influence de pressions intérieures, on voit les objets en verre, bouteilles, touries, se gonfler et augmenter de capacité. Si, sous une certaine pression, les li-

mites de l'élasticité du verre sont dépassées, la bouteille conserve une partie du gonflement éprouvé et ne reprend plus sa capacité primitive

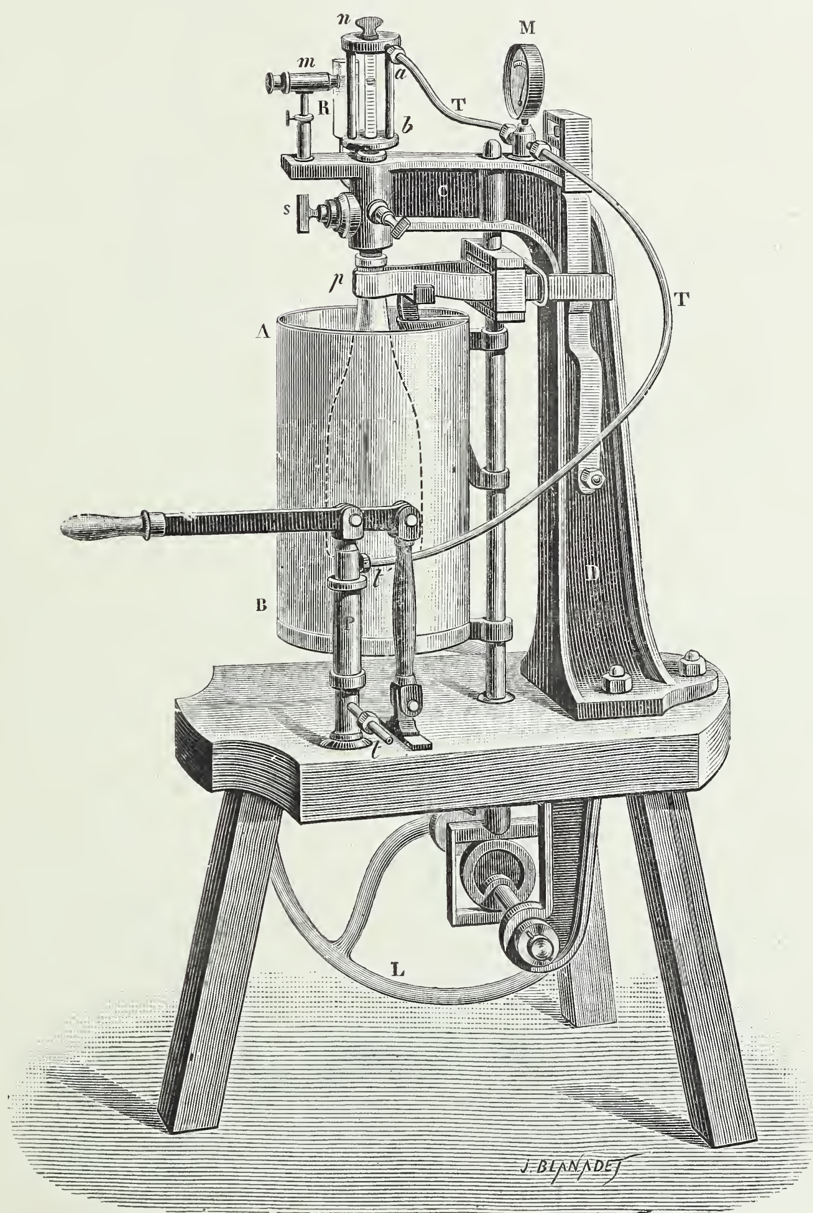


Fig. 26.

lorsqu'on cesse de la soumettre à la pression. Voici comment M. Salleron l'a démontré : Au col d'une bouteille, on ajoute un tube *a b* (fig. 27)

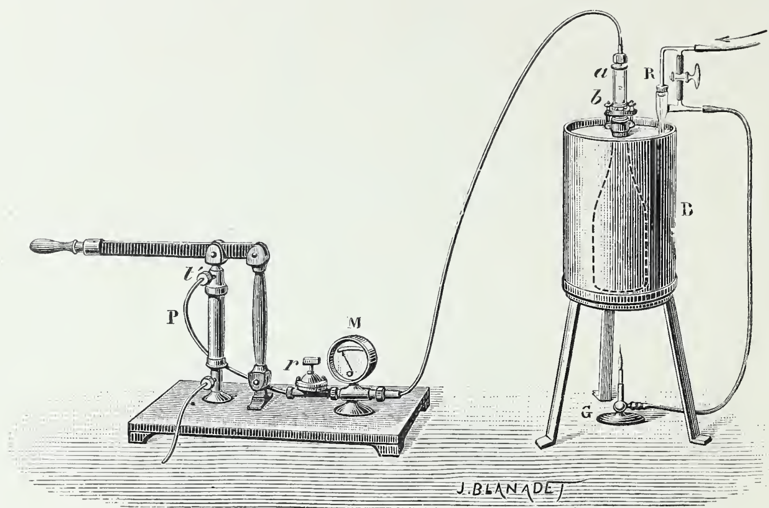


Fig. 27.

de faible diamètre divisé en centièmes de centimètres cubes et constituant un prolongement très étroit du col de la bouteille.

Ce tube permettra de mesurer exactement, par la diminution du vo-

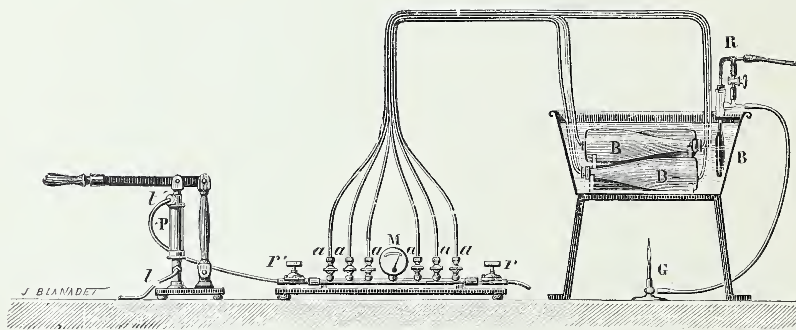


Fig. 28.

lume du liquide dont la bouteille et l'ensemble du matériel sont remplis les changements de capacité qui peuvent se produire dans la bouteille.

La partie supérieure *a* du tube gradué est mise en communication à l'aide du tube de raccord *t* avec une petite pompe foulante P (fig. 28) qui comprime de l'air au-dessus de l'eau qui remplit la bouteille. Un manomètre M mesure à chaque instant la pression à laquelle la bouteille est soumise. Enfin la bouteille est immergée au sein d'un bain-marie B qui la maintient à une température déterminée qu'on maintient fixe à l'aide d'un thermo-régulateur R.

Une bouteille du poids de 985 grammes et d'une capacité de 825 centimètres cubes, maintenue dans le bain-marie à une température de 10° et soumise graduellement à 10 atmosphères de pression a augmenté de capacité de 0 c. c. 600.

Pour 13 atmosphères, l'augmentation a été de 0 c. c. 800.

Pour 14 atmosphères, 0 c. c. 900.

Donc cette bouteille a subi dans sa constitution une modification profonde, qui doit nécessairement diminuer sa résistance. Quand, à un moment donné, les molécules sont parvenues à la limite de l'écartement qui correspond à la largeur d'un de leurs côtés, ou l'ont plus ou moins dépassée, le verre se rompt dans certaines régions internes ; si l'effort persiste, les lésions s'agrandissent, se propagent jusqu'à ce que le verre se détache en morceaux ; en examinant à la loupe la tranche des fragments de verres cassés, très souvent on voit des « esquilles », des fissures produites par le changement d'état permanent du verre.

Toutes les actions extérieures qui tendront à déplacer les molécules du verre : élévation de la température, vibrations, chocs plus ou moins violents, auront une influence considérable sur la résistance du verre et auront pour effet de diminuer considérablement cette résistance.

Dans un autre ordre d'idées, l'inégale épaisseur du verre et la composition chimique joueront également un rôle important : une épaisseur irrégulière amène, en effet, une recuisson inégale des diverses parties du verre ; quant à la composition chimique, elle fait varier dans

d'énormes proportions la ténacité du verre, sa résistance aux actions chimiques que pourront exercer les divers liquides que les objets en verre sont appelés à contenir. A ce point de vue, il faudrait pour ainsi dire avoir un verre de composition spéciale pour chaque liquide à conserver.

Nous donnons, ci-dessous, la composition de verres à bouteilles de différentes provenances.

Tout ce que nous venons de dire, relativement à la résistance des bouteilles, s'applique à tous les récipients en verre, quelle que soit leur capacité. C'est même dans le cas des pièces d'un volume considérable, bonbonnes, touries, que les soins à apporter dans la fabrication doivent être plus minutieux. Ce qui rend, en effet, les bonbonnes, touries, relativement moins résistantes que les bouteilles, c'est la difficulté de les obtenir d'une épaisseur absolument régulière ; aussi, dans un travail que l'un de nous a été appelé à faire à ce sujet [1] — et où les personnes que ces questions intéressent pourront trouver des renseignements plus nombreux et plus détaillés que ceux que nous pouvons donner ici — il a été dit que, pour les touries employées au transport des produits chimiques et autres liquides, il nous semble indispensable d'avoir recours, comme moyen de fabrication, au soufflage à l'air comprimé » préconisé par MM. Appert.

1. J. Henrivaux, *La Résistance du verre, etc.*, 1892, grand in-8.

Analyses de verres à bouteilles

	VERRES DE VAUXROT						FOLEMBRAY	FOURMIES	RICHMARME	VERRE D'UN AUTRE FABRICANT
						Champenois	Champenois		Rive-de-Gier	Rive-de-Gier
Silice	58.50	59.70	61.10	57.30	56.20	62.28	63.90	62.50	57.20	59.00
Chaux	23.60	21.40	20.20	23.50	22.85	21.89	20.17	21.30	19.30	21.00
Magnésie	6.95	8.00	6 60	5.45	5.50	6.02	3.90	4.00	traces	0 30
Soude	5.40	6.10	3.28	5.65	5.81	6.72	6.26	6 80	5.98	4.50
Potasse	traces	traces	1.64			»	0.47	0.50	2.85	2.85
Peroxyde de fer	2.07	2.21	1.70	1.78	1.93	1.88	1.64	2.17	1.00	1.00
Alumine	3.33	2.39	3.90	3.52	4 67	1.26	3.52	2 93	11.70	11 00
Oxyde de manganèse	traces	traces	traces	»	»	»	»	traces	0.55	0.50
Baryte	»	»	1.32	1.70	2.19	»	»	traces	1.50	»
Acide sulfurique	»	»	»	1.10	0.85	»	0.46	»	»	»
	99.85	99.80	99.74	100.00	100.00	100.05	99.50	100.20	100.08	100.15

SOUFFLAGE A L'AIR COMPRIMÉ.

M. L. Appert a cherché à supprimer complètement le rôle de l'ouvrier souffleur, rôle si pénible et si préjudiciable à la santé des ouvriers, en remplaçant le souffle humain par une injection d'air comprimé. Il a inventé une série d'appareils pouvant se prêter au travail du soufflage pour des objets de toutes formes, bouteilles, manchons pour vitres, etc., et, suivant la nature de l'objet à souffler, l'appareil a reçu diverses modifications rendant possibles tous les mouvements que l'ouvrier doit donner à la canne. Rien ne le gêne dans son travail ; il peut, soit faire tourner rapidement la canne, sur elle-même, soit la tenir verticalement le « nez » en haut ou en bas, soit lui donner le mouvement du pendule.

Nous donnerons la description sommaire de l'appareil dit « Appareil universel à souffler le verre. »

Deux pédales P (fig. 29), qui font saillie au-dessus de la plate-forme

Fig. 29.

de travail, permettent de mettre en mouvement, par les tiges *li*, un robinet d'arrêt automatique *r*, situé à la partie supérieure de l'atelier. Ce

robinet est mis en relation, d'un côté avec le réservoir d'air comprimé ; de l'autre, avec la canne du verrier, au moyen d'un tube flexible *a* qui passe sur une poulie OC.

Le soufflage à l'air comprimé qui, seul, peut permettre la fabrication des objets de dimensions colossales, témoin cette sphère de 1m,55 de diamètre, dans laquelle on a pu découper 3.000 verres de montre, avait été étudié par M. Appert, dans le but de rendre moins pénibles les conditions du souffleur, et nous pouvons dire, que son application a été considérée partout comme un véritable bienfait.

VERRE MOULÉ

Tous les procédés de mise en œuvre du verre sont basés sur l'utilisation des propriétés de plasticité, de malléabilité que possède le verre, lorsqu'il est porté à une température suffisamment élevée.

En effet, soit qu'on emploie le procédé du soufflage, le plus anciennement connu et pratiqué, et au moyen duquel on rend au verre, par des réchauffages successifs, la plasticité qui lui est nécessaire, et qu'il perd progressivement à chaque instant, par son refroidissement, soit qu'on emploie le procédé du moulage dans lequel on utilise la chaleur accumulée dans le verre sortant du creuset, en lui imprimant d'une façon instantanée sa forme définitive, c'est toujours à cette propriété précieuse de malléabilité qu'on a recours.

Le procédé de moulage ordinaire a l'inconvénient d'emprisonner le verre qui a été versé dans le moule entre deux surfaces métalliques relativement froides : la face intérieure du moule et la face extérieure du noyau, et, en le refroidissant, d'amener très rapidement la suppression de sa plasticité, rendant ainsi inefficace toute action mécanique, qu'elles qu'en soient l'énergie et la rapidité d'application.

Un procédé, employé uniquement pour la fabrication des glaces et des verres de toitures, permet de produire, sous forme de lames ou de feuilles d'épaisseur variée, moulées ou non sur une face, des pièces de verre de dimensions quelconques, pouvant aller, comme on l'a vu à l'Exposition de 1889, à près de 40 mètres carrés de surface, et du poids de 1.500 kilogrammes et plus.

C'est par l'étude attentive des conditions dans lesquelles fonctionne ce dernier procédé, que M. Appert a été amené à imaginer le procédé suivant dont la caractéristique consiste :

1° A n'effectuer le moulage que successivement, en n'agissant, à chaque instant, que sur une surface aussi limitée que possible ;

2° A disposer les appareils de façon à conserver au verre sortant du four de fusion la chaleur qui a été communiquée, de façon à agir pendant toute la durée de l'opération sur du verre à même température, et, par suite, dans le même état de malléabilité.

Voici comment on procède : on emploie un moule métallique d'épaisseur suffisante, armé de nervures destinées à empêcher la déformation. Ce moule s'ouvre en deux parties juxtaposées sur la hauteur, et en deux ou trois parties sur la largeur, au moyen de charnières. La partie inférieure du moule étant fermée, sa capacité doit être telle que, étant remplie, elle contienne la quantité de verre nécessaire pour faire l'ensemble de la pièce. Le moule, ouvert à ses deux extrémités, pour les pièces ouvertes elles-mêmes des deux bouts, est obturé à sa partie inférieure, au moment du moulage, par un noyau conique d'un diamètre inférieur à celui du moule, de façon à former l'épaisseur de la pièce.

On verse le verre dans le moule, on en ferme la partie supérieure, laissée ouverte jusque là, et on imprime avec la vitesse voulue un mouvement d'ascension au noyau, qui, pour cela, est monté sur une tige en fer ou en fonte tournée qui la guide dans l'axe du moule.

Ce mouvement est produit par un moyen mécanique quelconque, par de l'air ou de l'eau sous pression, ou de la vapeur.

La durée du moulage est extrêmement courte, et varie suivant la nature du verre et la dimension des pièces.

S'il y a excédent de verre, il est refoulé au dehors du moule, et reste en masse refroidie sur le noyau qu'on continue à faire monter, et qu'on a le soin de faire émerger en dehors et au-dessus du moule; il est alors séparé de la pièce fabriquée par un étirage qui se produit au moment du passage du noyau dans une bague de diamètre un peu supérieur, ajoutée sur le moule, quand celui-ci a été fermé. Le noyau est immobilisé et séparé de la tige qui le porte par une sorte de verrou; la tige seule redescend dans l'intérieur de la pièce, définitivement terminée, d'un mouvement rapide, de façon à permettre le démoulage.

A chaque opération, le noyau chaud est remplacé par un noyau froid de mêmes dimensions.

Pour obtenir des pièces égales d'épaisseur, et égales entre elles, il est nécessaire que les conditions, dans lesquelles s'opère le moulage, soient identiques; c'est ce qui arrive, en effet, puisque, étant admis que le verre puisé dans le four est à la même température, — le moule lui-même reste dans un état d'équilibre sensiblement constant — puisque le noyau, qui est renouvelé à chaque opération est toujours froid, et que la vitesse d'ascension du noyau est toujours la même. Quand la pièce est fermée d'un bout, le noyau est de forme tronconique ou en forme de pyramide tronquée, pour permettre le démoulage, quand l'opération est terminée. Le fond en est refroidi par un courant d'eau circulant intérieurement.

Il est à remarquer que, dans ce procédé, le moulage se produit non par le noyau métallique lui-même, mais par un noyau en verre qui se forme instantanément sur le noyau métallique au moment où celui-ci y a été versé. Suivant donc l'état de malléabilité du verre, et la rapidité

avec laquelle sa composition lui permettra de se refroidir, ce noyau artificiel sera d'un diamètre plus ou moins grand, et l'épaisseur de la pièce de dimensions en rapport avec ce diamètre. Une des conséquences de cette formation de noyau artificiel, c'est que l'intérieur des pièces moulées est lisse et poli, et qu'il ne porte aucune trace du noyau qui l'a formé. Le dehors de la pièce moulée, au contraire, épouse toutes les formes et les dessins en creux ou en relief qui ont pu être tracés sur la partie intérieure du moule; aussi, quand ces pièces sont des tubes ou tuyaux, sont-elles très propres à faciliter la conduite des fluides ou des liquides, en réduisant au minimum les pertes de charge.

Ce procédé de moulage permet évidemment la fabrication de pièces de dimensions illimitées, et on peut, en effet, par ce procédé, fabriquer facilement et économiquement des pièces d'une longueur de 1 et 2 mètres et plus.

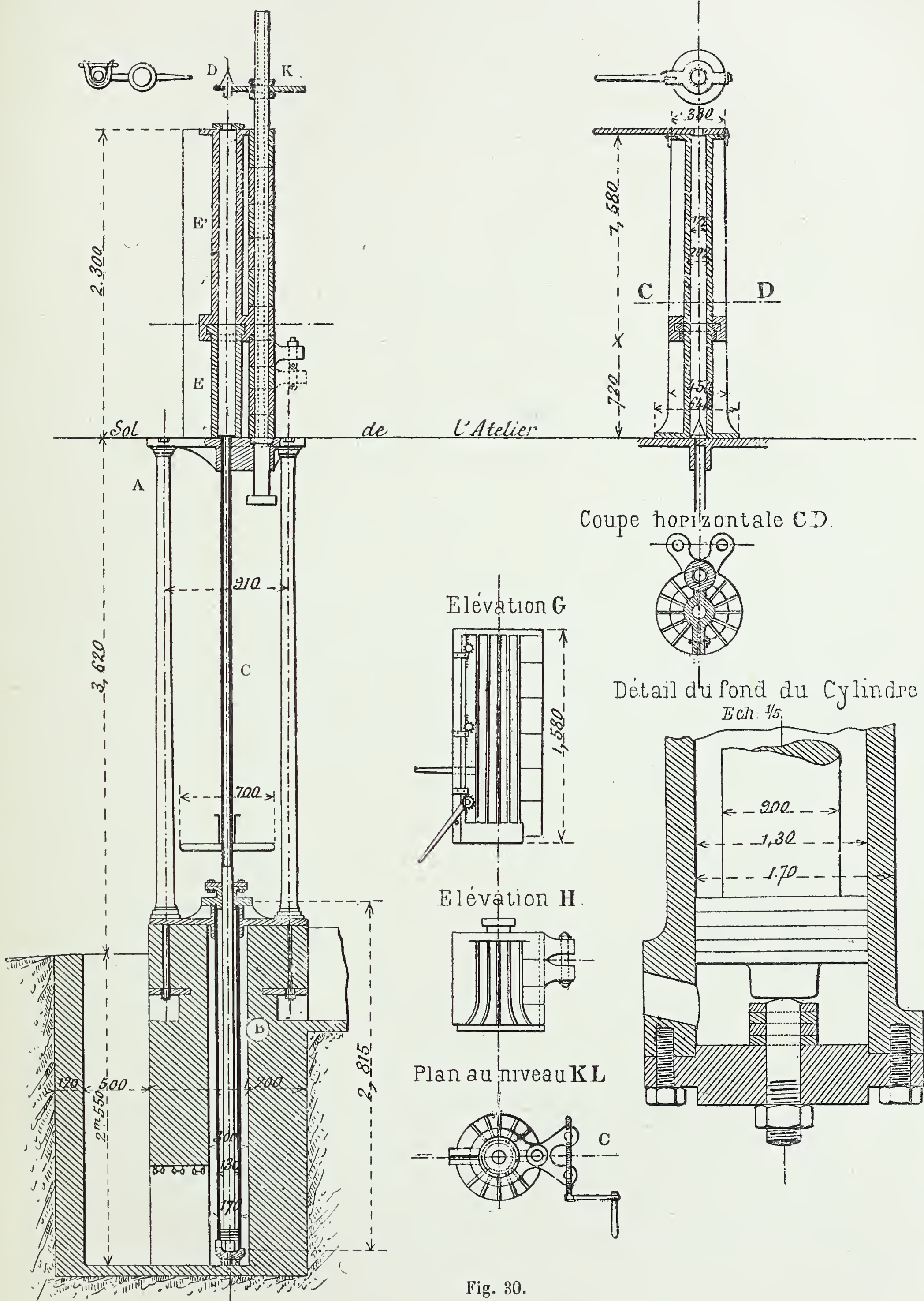
Le verre employé pour la fabrication des glaces, contenant en moyenne 15 % de chaux caustique, répond très bien aux besoins de cette fabrication; sa fluidité est grande, sa malléabilité suffisante, et son refroidissement rapide; sa grande résistance à l'action des agents de toute nature ne fait qu'augmenter ses qualités.

Ce procédé n'exige pas l'emploi d'ouvriers spéciaux : de simples manœuvres suffisent pour le mettre en action; aussi est-il extrêmement économique et appelé à rendre des services de toute nature à l'hygiène et à l'industrie, en rendant encore plus général l'emploi du verre, que recommandent son bas prix et ses nombreuses qualités.

Nous donnons (fig. 30) un dessin d'un appareil à mouler des tuyaux en verre, imaginé par M. Appert, et mis en application depuis plusieurs mois à Saint-Gobain :

A. Vide permettant l'accès au bas du cylindre.

B. Cylindre et piston à air comprimé, donnant le mouvement à la tige C.



Coupe verticale AB.
Coupe transversale EF.
D
K
E'
E
2.300
Sol de l'Atelier
A
910
C
3,620
700
B
2,815
120
500
1,200
2m550
30
130
170
330
1,580
C
D
720
450
640
Coupe horizontale CD.
Elévation G
1,580
Détail du fond du Cylindre
Ech. 1/5.
900
1,30
1,70
Elévation H.
Plan au niveau KL
C

Fig. 30.

C. Tige en fer creux, portant à sa partie supérieure un cône D, destiné à appliquer le verre chaud dans l'intérieur du moule E.

D. Cône dont le diamètre extérieur est un peu inférieur au diamètre intérieur du tube à fabriquer.

E. Moule en fonte en deux parties, E_1 et E_2, disposés de manière à pouvoir se fermer à charnières, d'une façon indépendante, pour faciliter le versage du verre dans la partie inférieure E, et à s'ouvrir sur toute la hauteur d'une façon simultanée, au moyen de la vis G, pour permettre le démoulage des tuyaux.

J. Pièce mobile s'ajustant à baïonnette sur le moule une fois fermé, et destinée à séparer par étirage le verre mis en excès, du tuyau qui vient d'être moulé.

K. Verrou destiné à arrêter le cône mouleur D avant de faire redescendre la tige C qui a servi à son ascension.

Ce procédé de moulage permet, non seulement de faire des pièces ouvertes des deux bouts, telles que des tuyaux; il peut être employé encore à la confection de pièces ouvertes seulement d'un bout, telles que des boîtes ou des bacs de dimension et de section transversale quelconques (voir fig. 31).

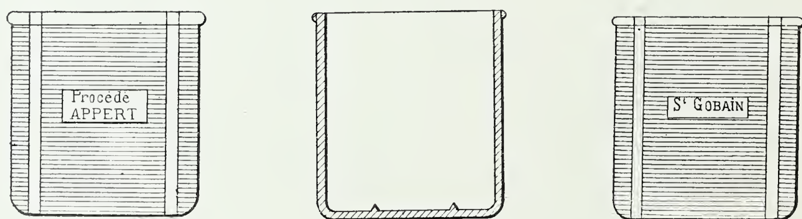


Fig. 31.

Il suffit dans ce cas, tout en opérant d'une façon analogue au point de vue du moulage, de donner au noyau mouleur la forme intérieure de la pièce qu'on veut obtenir, en ayant soin de le tenir légèrement conique sur sa hauteur, de lui imprimer, comme toujours, un mouvement

d'ascension vertical, mais au lieu de la continuer jusqu'à la sortie du noyau en dehors et au-dessous du moule, on l'arrête quand la face supérieure du dit noyau, qui doit former le fond de la pièce, est arrivé au-dessous de la partie supérieure du moule, à une distance égale à l'épaisseur que l'on veut donner à la pièce en fabrication.

La partie supérieure du moule est ouverte, et l'espace qui a été ainsi réservé se remplit, à la fin du moulage, de verre encore fluide, dont une partie peut s'écouler en dehors, s'il en a été versé en excès.

Un rouleau métallique, de dimension et de pesanteur suffisantes, mû mécaniquement ou à la main, suivant les dimensions des pièces, vient alors laminer ce verre à l'épaisseur voulue, expulsant en même temps l'excédent du verre qui a pu y être versé, et le séparant de la pièce moulée par sa réduction en lame mince sur les bords supérieurs du moule, qu'on a eu soin de tailler en biseau à cet effet.

On redescend vivement le noyau qui coiffait la pièce moulée, et, pour la terminer, il ne reste plus, une fois sorti du four de cuisson, qu'à en dresser les bords supérieurs, toujours un peu irréguliers, ainsi que les arêtes inférieures limitant le fond.

SOUDURE DU VERRE AVEC LES MÉTAUX

Dans un grand nombre de circonstances, on se trouve dans la nécessité de souder le verre avec les métaux ; cette opération, qui ne pouvait se faire jusqu'ici que dans certaines conditions particulières, et avec des verres de nature spéciale, assez difficile à rencontrer, était toujours une opération délicate et donnant des résultats incertains ; quelques recherches intéressantes ont été faites dans ce but, et ont donné des résultats qu'il est utile de faire connaître.

M. Cailletet, bien connu par ses remarquables études sur la com-

pression et la liquéfaction des gaz, a communiqué à l'Académie des Sciences un nouveau procédé de soudure du verre et de la porcelaine avec les métaux.

Ce procédé de soudure employé par lui pour ses expériences est des plus simples :

On recouvre d'abord la partie du verre ou de la porcelaine qui doit être soudée d'une mince couche de platine métallique.

Il suffit, pour obtenir ce dépôt, d'enduire au moyen d'un pinceau la pièce légèrement chauffée, de chlorure de platine bien neutre, mélangé à de l'huile essentielle de camomille.

On chauffe lentement de façon à évaporer l'essence et lorsque les vapeurs blanches et odorantes ont disparu, on élève la température jusqu'au voisinage du rouge sombre.

Le platine se réduit alors et recouvre la pièce d'un enduit métallique parfaitement adhérent.

En fixant au pôle négatif d'une pile d'une énergie convenable, la pièce ainsi métallisée est placée dans un bain de sulfate de cuivre, on dépose sur le platine un anneau de cuivre qui doit être malléable et bien adhérent, si l'opération a été conduite avec soin.

Dans cet état, la pièce ainsi cuivrée peut être traitée comme un véritable tube métallurgique et soudée au moyen de l'étain, au fer, au cuivre, au bronze, au platine et à tous les métaux qui s'allient à la soudure d'étain.

La solidité et la résistance de cette soudure sont très grandes; M. Cailletet a constaté qu'un tube de son appareil à liquéfier les gaz dont l'extrémité supérieure avait été fermée au moyen d'un ajutage métallique, ainsi soudé, a résisté à des pressions de plus de 900 atmosphères.

On peut remplacer le platinage par l'argenture qu'on obtient en chauffant dans le voisinage du rouge, le verre recouvert de nitrate d'argent;

l'argent ainsi réduit adhère parfaitement au verre, mais des essais assez nombreux ont fait préférer le platinage à l'argenture.

MM. Feix frères, maîtres verriers à Albrechtsdorf (Autriche), dont nous avons eu occasion de parler déjà comme exposants en 1889, ont employé un procédé analogue pour la décoration des pièces en verre qu'ils avaient présentées.

Ces pièces recouvertes d'un réseau artistement dessiné et formé de réseaux et d'entrelacs obtenus par le dépôt de cuivre électrolytique subissent un travail supplémentaire de ciselure, après quoi elles sont plongées dans un bain galvanoplastique qui y dépose une légère couche d'or et en rehausse l'éclat.

Ces industriels n'ont pas fait connaître la nature du métal employé comme conducteur.

M. F. Walter a trouvé un alliage qui adhère énergiquement au verre et qui peut servir, par conséquent, à assembler les tubes de verre entre-eux, à les fermer hermétiquement, etc., etc.

Cet alliage se compose de 95 % d'étain ; et 5 % de cuivre.

On l'obtient en versant le cuivre dans l'étain préalablement fondu, agitant le mélange avec un agitateur en bois, le coulant ou le granulant, puis le refondant.

Il fond à 360° environ.

En ajoutant 1/2 à 1 % de plomb ou de zinc, on peut rendre l'alliage plus ou moins dur ou plus ou moins fusible.

On peut s'en servir aussi pour recouvrir les métaux réduits à l'état de lames ou de fils auxquels il donne l'apparence de l'argent.

Fours de fusion.

Nous ne parlerons pas des anciens fours à bois, aujourd'hui complètement abandonnés et nous ne citerons que pour mémoire le four à grille à chauffage direct par la houille.

Nous dirons quelques mots du four Boëtius, nous réservant de parler plus longuement des fours à gaz proprement dits.

FOUR BOËTIUS.

Le principe du four Boëtius repose sur la combustion méthodique du charbon, dans l'échauffement de l'air destiné à la combustion et le mélange intime des gaz comburants et combustibles.

Ce four se compose du four de fusion proprement dit *a* (fig. 32, 33, et 34) et des deux générateurs à gaz *b b'*, situés directement au-dessous du four et séparés par un massif central *c*. L'aspiration s'effectue par des cheminées *d d'* ménagées dans des piliers d'ouvreaux et en communication avec la hotte du four. Le siège est composé d'un seul massif légèrement incliné vers les parois du four et percé en son axe longitudinal de deux lunettes *l l'* par lesquelles les gaz arrivent dans le four.

Il est composé de deux tas de grandes briques de siège, superposés à un lit de petites briques de siège qui, à son tour, recouvre un réseau de petits canaux *r r'* débouchant dans les lunettes *l l'*.

C'est par ces canaux que sont lancés les jets d'air destinés à la combustion.

Directement sous le siège et suivant son axe longitudinal s'étendent les deux gazogènes. Ce sont des foyers à grille inclinée et à tirage naturel, dont le fond est formé par le massif central *c* et dont les parois s'élè-

vent en se rétrécissant jusqu'aux dimensions des lunettes *l l'*. Les générateurs sont recouverts de deux voûtes qui supportent le siège et dans lesquelles on a ménagé une ouverture communiquant avec les lunettes *l l'*.

En *g g'* sont les grilles qui se continuent jusqu'aux tisarts en *t t'* par des plans inclinés *p p'* appuyés sur les voûtes *v v'*. Sous chaque grille court le cendrier K appelé cave.

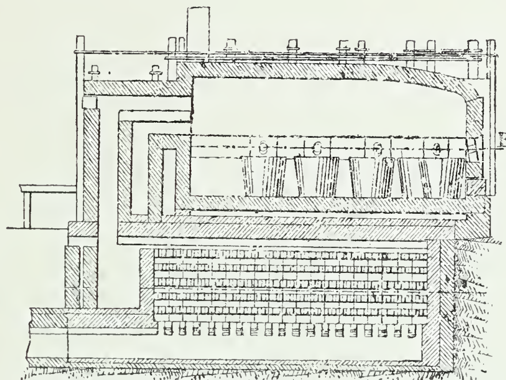
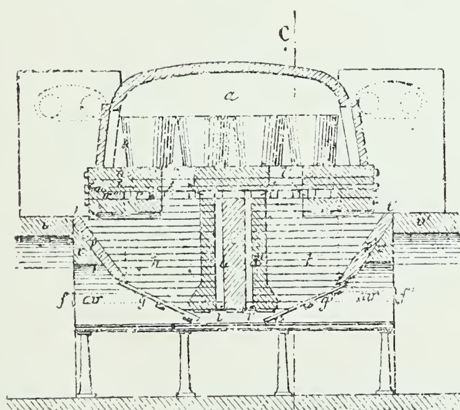


Fig. 32.



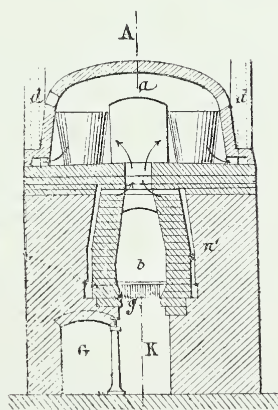


Fig. 33. Fig. 34.

Outre l'économie de combustible, on atteint dans le four Boëtius des températures bien supérieures à celles que le chauffage à foyer direct permet d'obtenir ; le verre y est plus beau, plus fin, et s'y maintient

plus longtemps à l'état malléable, en même temps qu'il reste à l'abri des poussières pendant toute la durée du travail.

D'après les données de M. Boëtius, M. Tocke a isolé du four les deux gazogènes en les reportant à une certaine distance et en les reliant au four au moyen d'un conduit en maçonnerie.

En 1885, M. Appert a apporté quelques perfectionnements au four primitif de Boëtius. Les modifications introduites ont eu pour but de donner à l'air amené dans le laboratoire du four, autour des creusets, une température sensiblement plus élevée que dans l'ancien dispositif, produisant ainsi un accroissement de température avec une consommation de combustible notablement moindre (10 à 15 °/₀).

Par un système de chicanes placées le long des murs verticaux des gazogènes et dans le damier disposé sous le siège du four, les filets d'air sont obligés de suivre un parcours beaucoup plus considérable et égal dans toutes ses parties avec la vitesse la plus faible possible en contact avec les parties chaudes des gazogènes et du four en les rafraîchissant et en rendant l'usure moins rapide.

Un ensemble de regards convenablement disposés permet la visite et le nettoyage des chicanes et des carneaux. L'air arrive dans le four à une température d'environ 500 à 600 degrés.

Les fours ainsi modifiés sont employés dans un grand nombre de verreries produisant la gobeletterie ou demi-cristal.

FOURS A GAZ. — FOUR SIEMENS A GAZ ET A RÉGÉNÉRATEURS.

Le four Siemens, à gaz et à chaleur régénérée se compose de deux parties distinctes : le four proprement dit, avec ses valves de renversement, ses régénérateurs, ses chambres de fusion ou de travail, et le gazogène où le charbon est converti en combustible gazeux.

Les gaz (fig. 35) sortant du gazogène passent par la valve de renversement G qui les dirige à la partie inférieure du régénérateur G_1 G_1, l'air est admis par la valve de renversement de l'air A dans le régénérateur à air A_1 A_1, qui est plus grand que celui à gaz ; l'air et le gaz arrivent en B_1 dans la chambre de combustion. La flamme après avoir traversé le four passe par B à travers deux chambres régénératrices G_2 G_2 A_2 A_2 avant de se rendre à la cheminée.

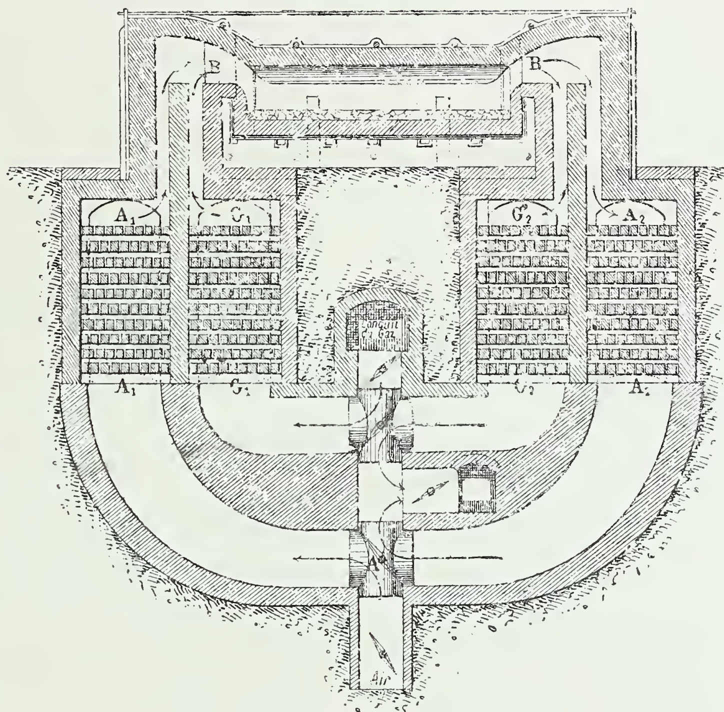


Fig. 35.

Donc, l'air et le gaz combustible montent dans le four à travers une série de deux régénérateurs, et se rendent à la cheminée après la combustion à travers l'autre série ; mais, en traversant cette seconde paire de régénérateurs ils abandonnent la plus grande partie de leur chaleur aux briques qui y sont empilées et arrivent au fond des chambres, et à la cheminée, relativement froids.

Lorsque la circulation s'est faite ainsi pendant un certain temps (1/2 heure à 1 heure), on renverse les valves changeant ainsi la direction des courants. L'air et le gaz rentrent alors dans la seconde paire de chambres régéneratrices A_2 G_2, l'air monte dans l'une, le gaz dans l'autre, et ils reprennent la majeure partie de la chaleur déposée avant le renversement dans les briques, par les gaz descendants.

Les gaz ainsi portés à une température de 800 degrés par exemple entrent alors en combustion, et si dans l'opération précédente la température était de 800 degrés, elle devra être maintenant de 1.600 degrés. Les gaz brûlés s'échapperont à cette température et chaufferont à 1.600 degrés environ, les empilages supérieurs de la première paire de régénérateurs. Ainsi de suite, la température du four sera abaissée à chaque renversement des valves.

La pratique a démontré les avantages suivants du four à gaz Siemens :

1° Economie de combustible (45 à 50 °/₀).

2° Augmentation du travail obtenu (30 °/₀).

3° Grande pureté et douceur de la flamme.

4° Durée plus grande des fours.

5° Economie de place dans les usines et grande propreté.

6° Réglage à volonté de la chaleur et de la nature de la flamme.

7° Absence complète de fumée à la cheminée d'appel.

FOUR A RADIATION.

Depuis 1884, M. Frédéric Siemens a émis une nouvelle théorie pour le chauffage des fours et a établi ainsi qu'il suit le chauffage dit « par radiation ».

Dans la première période de la combustion qui est la période active,

les flammes passent à travers une grande chambre à combustion et ne la chauffent que par leur chaleur rayonnante. Dans la seconde les produits de la combustion sont mis en contact direct avec les surfaces à chauffer auxquelles ils transmettent la chaleur produite par la combustion en l'ajoutant à celle résultant de la radiation émise par les flammes.

Comme il importe, dans les fours qui réalisent l'application de ce principe, que les gaz en combustion ne perdent de leur chaleur que ce qui tient au rayonnement, il est absolument indispensable de faire les chambres à combustion assez grandes pour éviter le contact direct avec les parois. Les voûtes des fours et les conduites de fumée doivent être disposées de telle sorte que la combustion complète du gaz puisse s'effectuer avant que les flammes aient quitté la chambre à combustion. On obtient ainsi une chaleur plus intense et une durée de combustion plus longue que dans les fours ordinaires.

L'intensité de la chaleur et la durée de la combustion comportent des avantages que les fours ordinaires ne sauraient présenter. Les flammes perdent beaucoup de chaleur par le contact de leur surface avec les parois d'un foyer, ce qui serait difficile à expliquer s'il n'y avait, à côté de la combustion imparfaite, d'autres causes qui réduisent, en l'espèce, l'effet calorifique des flammes.

La flamme émet de la chaleur par rayonnement, non seulement par sa surface, mais aussi de son intérieur en la laissant passer à travers toute sa masse ; c'est ainsi que toute particule de flamme envoie des rayons dans toutes les directions; mais quand celle-ci touche aux parois, la combustion cesse aux endroits des contacts et du carbone mis en liberté détermine la production de la fumée. Cette dernière développe une partie de flamme et empêche les rayons calorifiques des autres parties d'y parvenir et d'élever la température.

Dans tous les phénomènes de la combustion, le rayonnement joue un rôle beaucoup plus important qu'on ne lui reconnaissait jusqu'ici; par

conséquent, toute cause qui tend à diminuer le pouvoir rayonnant de la flamme ou à en dévier les rayons, réduit nécessairement la quantité de chaleur qui peut être utilisée. Si la flamme se trouve hors de contact avec les objets qu'il s'agit de chauffer, la combustion s'améliore, et on tire du rayonnement tout l'avantage qu'il peut présenter. Le mode usuel d'application de la flamme, qui consiste à en faire embrasser les surfaces à chauffer, détermine une combustion imparfaite, empêche les rayons de chaleur d'élever la température de la flamme et tend par conséquent à la détruire. Cela se rencontre surtout lorsqu'on emploie des hydrocarbures ou de l'oxyde de carbone comme combustibles.

Pour que cette théorie, qui se trouve en concordance avec les fours expérimentés par F. Siemens, soit complète, elle doit prendre en considération les phénomènes de dissociation ; cette théorie déterminée par les surfaces chauffées est résumée comme suit par F. Siemens.

L'augmentation de température, en produisant l'expansion des gaz, réduit l'attraction mutuelle des atomes ou, en d'autres termes, diminue leur affinité chimique. En raison de l'augmentation de chaleur, la tendance répulsive des atomes augmente jusqu'à ce que la décomposition ou la dissociation survienne. Ceci admis, il s'ensuit que l'attraction que les surfaces exercent sur les atomes des gaz, attraction qui croît avec la température, favorise la dissociation en augmentant la tendance répulsive des atomes. M. Victor Meyer, qui avait le premier contesté l'exactitude des résultats obtenus par les deux savants que nous venons de nommer, les a depuis acceptés. Nous avons été bien aise d'apprendre ce fait, puisque leurs expériences confirment les résultats obtenus dans la pratique des fours. M. Meyer, dont l'autorité dans les questions de dissocation est généralement reconnue, a fait plusieurs expériences intéressantes qui ont fait ressortir l'exactitude de la théorie que nous venons d'exposer. Par exemple, il faisait tomber, en gouttes, du platine fondu dans de l'eau ; de l'oxygène et de l'hydrogène se dégageaient par

suite de la dissociation de la vapeur. Dans ce cas, la dissociation ne peut être contestée, mais il faut se demander si la chaleur en est la seule cause. En premier lieu, il faut prendre en considération l'action dissociante que les surfaces chauffées du platine exercent sur la vapeur et, en deuxième lieu, l'affinité qu'a le platine pour l'oxygène et l'hydrogène. Il en est de même d'une autre expérience où M. Meyer a fait passer de la vapeur à travers un tube de platine chauffé. Bien d'autres expériences pourraient être citées dont les résultats confirment nos idées sur la question.

Il y a un autre phénomène démontré par l'expérience et lié avec la dissociation, qui doit être expliqué! Quand une flamme dont la température est augmentée devient plus longue, on considère ce fait comme l'indice le plus sûr du commencement de la dissociation.

Or, Toutes les expériences de ce genre ont été faites avec des tubes étroits où l'influence des surfaces chauffées sur la dissociation devait entrer en jeu. Ce n'est pas seulement la chaleur qui, dans ces cas, déterminait la dissociation et augmentait la longueur des flammes, mais aussi l'influence des surfaces chauffées sur les gaz en combustion, surtout quand ceux-ci contenaient des hydrocarbures. Donc l'allongement de la flamme était dû en partie à ce que les surfaces empêchaient la combustion des gaz dissociés en rétrécissant l'espace. Si la même flamme pouvait se développer dans un espace où les surfaces ne sont pas multipliées, dans les fours à radiation par exemple, l'allongement ne pourrait pas se produire; au contraire, au fur et à mesure de l'augmentation de température la flamme deviendrait plus courte.

Ce phénomène peut-être observé dans les becs à gaz régénérateurs dont la flamme est d'autant plus courte que la température et, par conséquent, la lumière produite, sont plus intenses. D'autre part, la flamme peut être allongée à volonté, si elle est conduite à travers les passages étroits. On observe ceci dans des fours régénérateurs qui envoient des

flammes jusqu'au sommet de la cheminée si les soupapes sont arrangées de façon que les flammes, au lieu de passer à travers le foyer, entrent immédiatement dans le régénérateur et y brûlent.

La combustion proprement dite ne peut avoir lieu dans les voûtes du régénérateur, et les flammes s'allongent jusqu'à ce que les gaz se refroidissent au rouge sombre et se transforment en une épaisse fumée. Aussi, dans ce cas, les grandes surfaces du régénérateur exercent la double action d'empêcher la combustion et de favoriser la dissociation.

Il résulte de ce que nous venons d'avancer que les fours régénérateurs présentent de grands avantages pour les expériences, étant donné qu'ils offrent des résultats pratiques qui peuvent servir de base aux conceptions théoriques de la combustion et de la dissociation. Si la dissociation des produits de combustion a lieu, nous en voyons les conséquences dans une diminution de la chaleur, une réduction de rendement et la destruction des fours et des matériaux. Après avoir éloigné les causes de la dissociation, nous constatons l'élévation de la température, l'augmentation du rendement, la plus longue durée des fours et l'économie des matériaux. Des résultats analogues peuvent être obtenus avec d'autres fours, mais les avantages n'en seront pas aussi grands que dans le cas des fours régénérateurs, étant donné que l'intensité de la chaleur qui peut être produite par les premiers est moins grande que celle produite par les derniers.

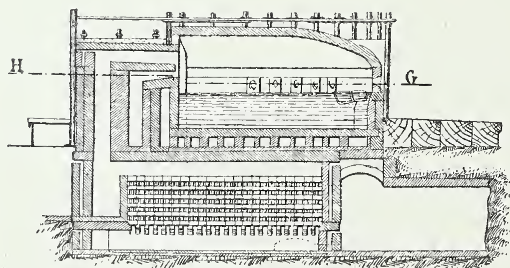


Fig. 36.

Ce système de chauffage par radiation, ou à flammes libres, a été appliqué aux fours de fusion dits *à bassins* (fig. 36), aux fours à pots avec introduction de flammes alternées par les pignons du four ou par un seul pignon, comme dans la disposition

dite « en fer à cheval » (fig. 37). Ces exemples et ce que nous venons de dire suffiront pour montrer l'application de la théorie de M. F. Siemens. Les fours à fondre le verre sont appelés à bénéficier largement des avantages de ce nouveau système comme durée des fours et économie de combustible.

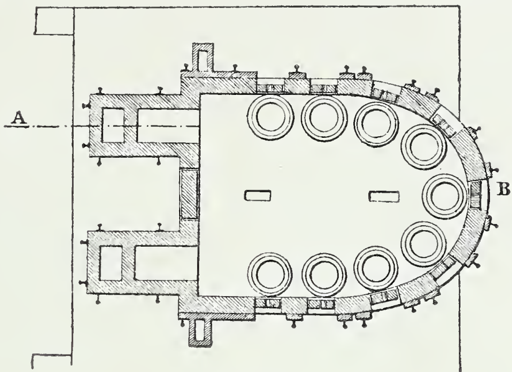


Fig. 37.

M. Klattenhoff, directeur de verrerie à Jumet (Belgique), a pris, en 1882, un brevet pour un nouveau mode de répartition des flammes dans les fours à gaz, et M. de Boischevalier a donné une description de ce procédé.

La figure 38 indique le principe de l'invention. Le gaz entre dans la chambre de chauffe F à la fois par les deux parois, en *a a*, l'air également de deux côtés en *b b*, tandis que les gaz brûlés s'échappent par les deux mêmes côtés dans le voisinage des entrées par les ouvertures *c c*. Il en résulte à l'intérieur de la chambre de chauffe des courants qui prennent approximativement la direction des flèches, et l'impulsion à l'introduction s'oppose à ce qu'une évacuation immédiate des gaz non brûlés venant de *a* s'opère par l'ouverture voisine *c*.

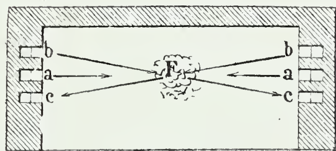


Fig. 38.

On peut, pour les besoins de la régénération, organiser un renversement périodique entre la direction de l'air et celle des gaz brûlés, de façon à faire entrer l'air en *cc*, et sortir les gaz brûlés par *bb;* mais il faut, dans tous les cas, disposer les ouvertures d'introduction et d'évacuation en groupes se faisant vis-à-vis, et de plus les rapprocher suffisamment entre elles dans chaque groupe pour qu'il en résulte une

opposition des courants de flammes, et, qu'au cas de renversement indiqué, il ne se produise aucune modification sensible dans la direction de ces flammes. Cette possibilité du renversement, tout en conservant la même direction de flammes dans l'intérieur du four, constitue, comme nous le verrons plus loin, un avantage essentiel du système.

Il résulte du principe ainsi posé, qu'il n'est pas nécessaire de se limiter à une seule ouverture à chaque tête ou de chaque côté de la chambre de chauffe; on peut les multiplier, si l'on augmente en conséquence le nombre ou la dimension des ouvertures pour l'air et les gaz brûlés, toujours dans le but d'obtenir une opposition de courants dans les conditions indiquées.

On peut donc également, au lieu de placer les ouvertures au-dessus les unes des autres, les disposer horizontalement ou aux sommets d'un triangle, et l'on peut, s'il n'y a pas de renversement, réunir le gaz et l'air dans un brûleur avant l'entrée au four. Si, même à la rigueur, on supposait une régénération par le gaz, on pourrait disposer deux ouvertures *a* tout près l'une de l'autre; nous ne signalons cette possibilité que pour mémoire, puisque nous avons fait remarquer au début qu'il n'y avait pas avantage à chercher de ce côté.

Il faut, pour que les flammes viennent à la rencontre l'une de l'autre, au lieu de s'échapper directement en *c*, après s'être formées en *ab*, que le gaz, en venant du générateur, et l'air en s'échauffant, acquièrent une certaine impulsion; il faut de plus que le tirage de la cheminée soit réglé de façon à équilibrer cette impulsion afin qu'il reste un peu de pression moyenne dans le four. Si ces conditions sont remplies dans la mesure où elles sont indispensables à la bonne conduite de tout autre système de four à gaz, l'expérience acquise dans les installations transformées, d'après le système des courants opposés, a prouvé qu'on peut faire converger les deux flammes de points très éloignés entre eux, sans qu'il s'échappe de produits non brûlés, c'est-à-dire sans que chaque flamme

forme un crochet entre son point d'introduction et l'ouverture voisine d'évacuation. Par contre les deux flammes, qui vont à la rencontre l'une de l'autre, acquièrent déjà, à peu de distance de leur point de formation, une tendance à se développer en éventail, à tournoyer ensemble et à remplir la chambre de chauffe plus régulièrement et plus complètement qu'une flamme qui, passant dans un seul sens, se compose de zones parallèles, inégalement échauffées, qui subsistent souvent dans toute la distance du parcours du point d'introduction à celui d'évacuation, ce qui fait que la plus grande chaleur se porte à la partie supérieure du four, où elle est nuisible, tandis que son effet serait utile à la partie inférieure.

Si le gaz et l'air entrent dans le four par deux ouvertures distinctes, leur combinaison chimique ne se fera qu'à une certaine distance et progressivement, de sorte que la flamme ne sera pas piquante; le mélange intime n'en est pas moins garanti par la rencontre des courants.

La figure 39 représente le four de Radot et Lencauchez, dans lequel le gaz arrive par un tuyau G au-dessous du four, se répartit vers les deux têtes de la chambre de chauffe, et y rencontre dans deux brûleurs l'air qui, de son côté, est entré en L, et s'est échauffé en montant dans le récupérateur avant de se répartir dans les deux brûleurs. Les produits de

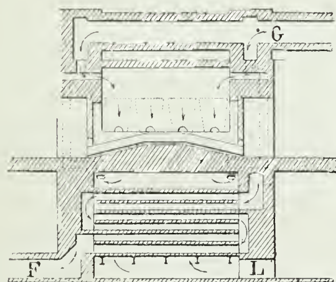


Fig. 39.

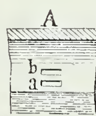


Fig. 40.

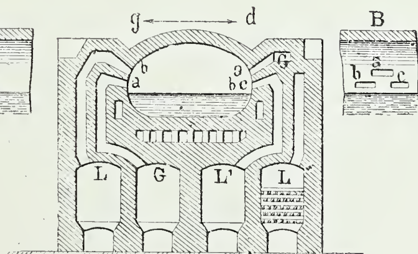


Fig. 41.

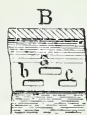


Fig. 42.

combustion s'échappent verticalement par le pied des piliers du four, et de là par le récupérateur qu'ils parcourent horizontalement en l'échauf-

fant avant de s'échapper par F dans la cheminée. Ce genre de distribution de flammes n'exclut pas le parallélisme des zones de chaleur qui entourent les pots. L'opposition des courants s'arrête à son début, et cette disposition, en outre, ne permet pas le renversement du courant de l'air, et n'est par suite applicable qu'au système récupératif; elle ne donne pas néanmoins de mauvais résultats; il y a, toutefois, à y blâmer la position du canal à gaz au-dessus du four, d'où résulte un refroidissement, au lieu que le gaz combustible tend à s'échauffer au contact des parties du four qui demandent à être refroidies.

Les figures 40, 41, 42 montrent l'application des courants opposés, à différents cas de la pratique ; ce ne sont que de simples esquisses théoriques qui ont pour but d'indiquer, plutôt la possibilité que le moyen d'opérer cette application, et visent plutôt à la clarté de l'exposition qu'à l'exactitude de la construction, ce dernier point devant se régler dans un bureau de dessin, et non dans notre rapide exposé.

Nous supposons connu le four à cuve Siemens pour le travail continu du verre. Si on imagine la partie gauche g de la figure 41, dessinée symétriquement à droite, l'ensemble représente la coupe en travers perpendiculaire au grand axe du four, tel qu'il est actuellement connu. Le gaz arrive du générateur G par a dans le four ; l'air du régénérateur L par b; les gaz brûlés s'échappent de l'autre côté par ab, et inversement après renversement des clapets. Chaque côté long du four présente plusieurs ouvertures a et autant d'ouvertures b, et la projection a se reproduit plusieurs fois.

Si le côté d de la figure 41 est dessiné symétriquement à gauche, l'ensemble représente la modification d'après le système des courants opposés. Le gaz entre à la fois des deux côtés en a; c'est également des deux côtés à la fois que l'air et les produits de combustion alternent, l'un entrant en b ou en c, tandis que les autres sortent par c ou

par *b*, et la projection B se reproduit autant de fois que dans l'autre cas la projection A.

Les chambres, qui constituaient précédemment les régénérateurs à gaz G, sont devenus des régénérateurs à air L'. Si, comme c'est souvent le cas, ils sont plus petits que les autres, ils offriront néanmoins à eux deux assez de surface pour échauffer l'air seul; autrement il faudrait, en modifiant l'embranchement des canaux, faire agir, pour l'entrée, le régénérateur L à droite avec L' à gauche, et inversement. Il faut avoir soin que le gaz ne se refroidisse pas dans collecteur G, et même qu'il s'échauffe, s'il est possible, sous la sole du four. Dans cette disposition, le gaz entre au-dessus de l'air; cette disposition est adoptée plutôt pour la clarté du croquis que dans d'autres intentions. Cette position relative des ouvertures n'a pas d'importance au point de vue du mélange intime des gaz, puisque l'opposition des courants le complète, mais elle lui est plus favorable que nuisible, puisque, quand le gaz n'est pas aussi chauffé que l'air, il reste plus dense que lui. Cela peut aussi avoir l'avantage d'empêcher que des veines de gaz, non encore complètement enflammées, n'arrivent au contact direct de la surface du verre fondu.

Le four à cuve peut être destiné au travail intermittent, soit qu'on travaille le verre entre deux fontes, soit qu'on laisse écouler en une fois tout le contenu du four sous forme de calcin, procédés qui, pour plusieurs raisons, ne se sont pas implantés dans la pratique. Comme dans les installations de ce genre, on travaille le verre par les côtés du four, et qu'on chauffe par les bouts, on peut s'imaginer le dessin modifié de telle sorte que la figure représente la coupe en long du four, que les deux groupes de régénérateurs soient un peu plus écartés l'un de l'autre, les flammes se distribuant du reste d'après les mêmes principes, mais par les têtes au lieu des côtés.

Dans ces deux genres de fours à cuve, l'effet des courants opposés

permet de compter sur une meilleure répartition de la chaleur, et sur sa concentration au milieu du bain de verre; par suite également, sur une moins rapide détérioration à la ligne d'effleurement du verre.

Les deux figures 43 représentent un four à verre, rond, à six creusets couverts; le gaz arrive au-dessus de la voûte, s'échauffe à son contact, entre au four en *a* par les six piliers à la fois ; l'air entre en *b*, les produits de combustion sortent en *c*, ou inversement ou alternativement. L'opposition des courants se forme entre les deux piliers opposés, et les divers courants se mêlent très intimement dans tout l'espace. Le four a-t-il un plus grand nombre d'ouvreaux, et par exemple deux pots dans chaque ouvreau, un simple croquis à main levée suffit pour indiquer qu'il reste alors au milieu du four un grand espace vide de creusets, qu'on peut supposer occupé par un pilier central dans lequel on peut ménager des ouvertures qui produisent des oppositions de courants entre le pilier central et les piliers extérieurs. MM. Biedermann et Harvez, appartenant au personnel technique de M. Siemens, ont pensé que les fours à chaleur régénérée étaient susceptibles de perfectionnements, et pourraient encore procurer une économie considérable de combustible en modifiant légèrement le mode de récupération, et en faisant

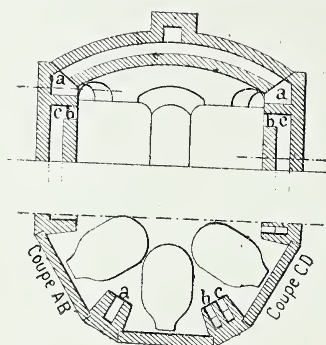


Fig. 43.

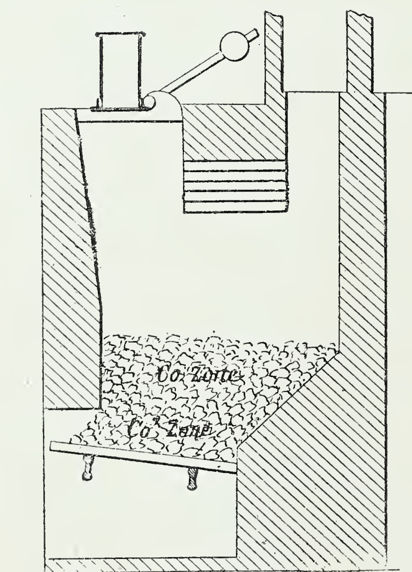


Fig. 44.

intervenir directement une partie des produits de combustible, à leur sortie du laboratoire dans la gazéification du combustible solide. On sait que, dans le gazogène ordinaire, la production de l'oxyde de carbone est le résultat de la décomposition de l'acide carbonique formé en premier lieu sur la grille par le carbone en excès.

Dans la couche inférieure du combustible incandescent (fig. 44), il se produit de l'acide carbonique surchauffé qui se transforme en oxyde de carbone en traversant la couche supérieure rouge, tandis que les hydrocarbures distillent à la surface et quittent le gazogène mélangés à l'oxyde de carbone.

La formation de l'acide carbonique donne lieu à une forte production de chaleur, mais sa transformation en oxyde de carbone est, au contraire, accompagnée d'une absorption de calorique.

Dans le four Siemens, adapté à la réalisation de ce principe nouveau, les produits de la combustion, tels qu'ils sont à la sortie du laboratoire, c'est-à-dire très chauds, sont introduits directement sous la grille du gazogène. Il en résulte qu'on peut se dispenser de produire de l'acide carbonique dans la partie inférieure du nouveau gazogène. Il suffit que la chaleur, qui eût été engendrée par cette production d'acide carbonique, et qui est nécessaire à sa décomposition, soit compensée par le calorique apporté par les produits de la combustion jouant ici le rôle de comburant. Le gazogène, s'il en est ainsi, deviendra le *convertisseur* dans lequel s'opérera la reconstitution des gaz brûlés ou gaz combustibles, sans que la température du combustible solide diminue. Ce fait qui, à première vue, peut paraître paradoxal, s'explique par la présence dans le gaz brûlé d'une quantité considérable d'azote, qui est le véhicule de la chaleur nécessaire à la réaction.

On peut, par un raisonnement très simple, montrer en quelque sorte la raison et la première source de l'économie réalisée. Supposons, en effet, le gazogène de la figure 44 rempli de coke incandescent. Si on

admet de l'oxygène sous la grille, il se formera, dans la zone inférieure, de l'acide carbonique produisant une certaine quantité de chaleur. Cet acide carbonique se décomposera dans la zone supérieure en absorbant une partie de cette chaleur. Il résulte de la réaction que le poids du carbone gazéifié dans la zone inférieure sera égal à celui du carbone gazéifié dans la zone inférieure. Mais, si nous supprimons la production d'acide carbonique, et si nous le remplaçons par de l'acide carbonique surchauffé, emprunté à une source étrangère, nous aurons bien réalisé l'économie de la moité du combustible.

Dans le nouveau four, les gaz sortant du laboratoire sont en partie dirigés sous la grille du gazogène convertisseur, et leur chaleur est intégralement utilisée, soit pour préparer la distillation des matières « volatiles » de la houille, soit pour les maintenir à une certaine température à leur arrivée dons le four. L'autre partie des gaz brûlés descend dans le régénérateur de l'air comme dans le four Siemens ordinaire.

Pour la propulsion des gaz à travers le convertisseur on emploie un injecteur de vapeur. Cette vapeur est surchauffée par les gaz venant du four, elle est décomposée en traversant le convertisseur et sert à enrichir les gaz.

Les figures 45 et 46 permettent de saisir les analogies qui existent entre le nouveau et l'ancien four Siemens. Le four ancien (fig. 45)

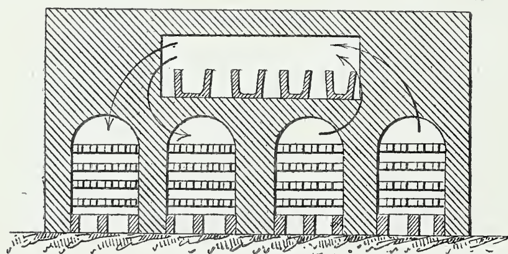


Fig. 45.

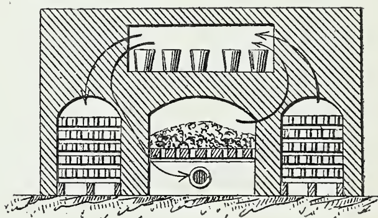


Fig. 46.

possède deux régénérateurs, un pour le gaz, un pour l'air ; le nouveau (fig. 47) ne possède qu'un régénérateur d'air et un convertis-

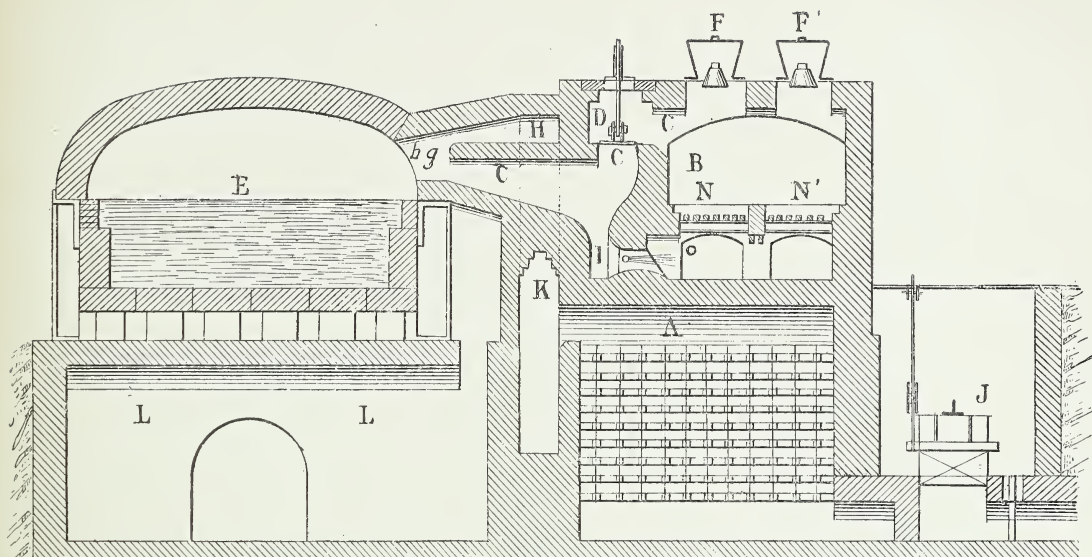


Fig. 47.

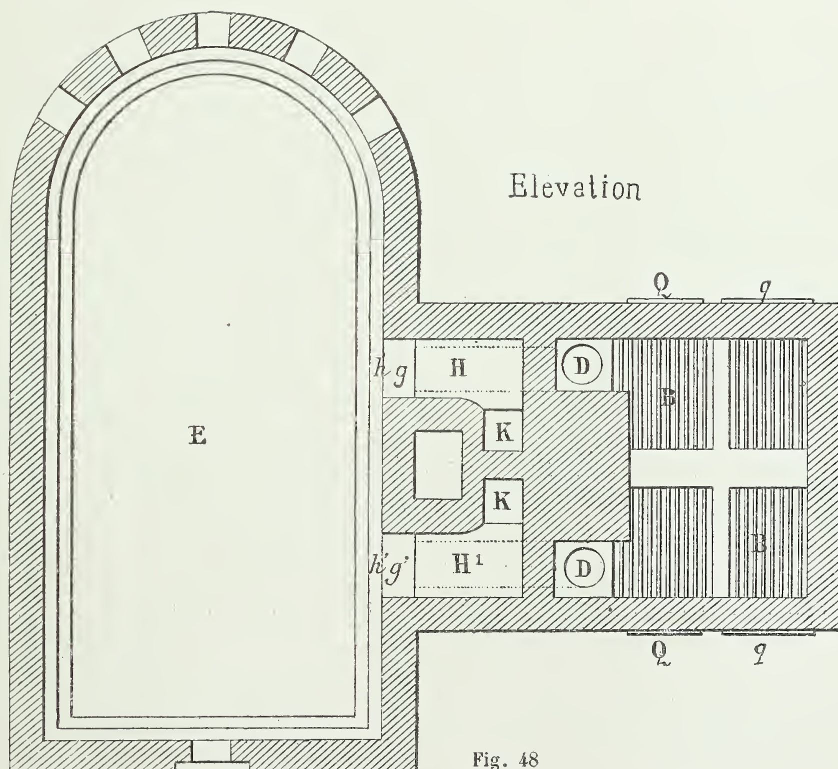


Fig. 48

seur pour le gaz. Dans les deux cas, on refroidit également les gaz brûlés avant leur départ par la cheminée en ne laissant que la chaleur nécessaire au tirage, mais comme dans le nouveau four une partie seulement des gaz brûlés est à évacuer, la chaleur nécessaire au tirage de la cheminée se trouve dimimuée d'autant. Dans les deux fours, il y a renversement des courants d'air et de gaz pour assurer la répartition uniforme de la température dans le four.

La forme adoptée pour le nouveau four peut varier selon les circonstances. Celle qui est représentée par les figures 47 et 48 est adaptée à la production du verre dans un four à bassin dans lequel la flamme circule en décrivant un demi-cercle, A est un des régénérateurs à renversement pour l'air; B le gazogène établi sur les dits régénérateurs; FF' trémies de chargement du combustible; NN' grilles du gazogène; E, le laboratoire du four, est à côté du gazogène et repose sur une fosse L; C est un des conduits amenant le gaz combustible au laboratoire E; DD, valves à champignons conjuguées entre elles par un balancier, de manière à ouvrir ou fermer alternativement l'une ou l'autre conduite à gaz; *hg*, *h' g'* brûleurs à flamme libre débouchant dans le laboratoire; HH' bouches d'air chaud communiquant avec le laboratoire; K, K' conduites reliant les régénérateurs aux brûleurs; I, un des injecteurs à vapeur placés dans les carneaux et produisant l'appel d'une partie des gaz brûlés sous les grilles du gazogène convertisseur; I, valve pour reproduire l'inversion du courant d'air allant au four et des gaz brûlés passant par les régénérateurs pour se rendre à la cheminée; O, un des couvercles montés sur charnières pour admettre ou intercepter alternativement les gaz brûlés dans leur communication avec le gazogène. Ces couvercles sont manœuvrés autamatiquement par des tringles reliées au balancier des champignons DD', le mouvement qui ferme D, ouvrant O et *vice versa*. Des portes Q*q* donnent accès aux grilles du convertisseur pour le nettoyage.

Voici maintenant quel est le fonctionnement du four : le gaz du convertisseur B passe par un des carneaux C et le champignon D' au brûleur *h*, *g'*. Le gaz rencontre la bouche H' et s'enflamme.

Les produits de la combustion s'échappent par le second brûleur *hg*, pour se diriger partie vers la cheminée en passant par le régénérateur A et la valve J, partie sous les grilles NN du gazogène par l'injecteur I pour y être reconstitués en gaz combustibles. De temps en temps, on renverse la direction des courants en manœuvrant les champignons DD' et la valve J comme on le fait habituellement dans les fours Siemens.

Voici les analyses des gaz obtenus avec l'ancien gazogène et avec le gazogène convertisseur.

Acide carbonique	4,0	3,8
Oxygène	0,0	0,0
Oxyde de carbone	27,0	26,1
Hydrogène	8,0	6,0
Hydrogène carboné	4,0	2,8
Azote	57,0	61,3
	100,0	100,0

Ces gaz, quoique de compositions bien différentes, différence due en partie aux houilles employées dans les deux cas, ont sensiblement la même puissance calorifique, mais il était intéressant de constater que la proportion d'acide carbonique n'est pas beaucoup plus considérable dans le gaz du gazogène convertisseur que dans les gaz obtenus directement par l'air dans les gazogènes de l'ancien four Siemens.

Outre l'avantage que présente le nouveau four, en raison de l'économie de combustible qu'il permet de réaliser, il convient d'attirer l'attention sur l'extrême simplicité de construction de cet appareil. Le prix de revient, d'après les inventeurs, n'est que d'environ les deux cinquièmes de celui d'un ancien four Siemens de même capacité productive. L'emplacement occupé par le nouveau four est extrêmement restreint, la main-d'œuvre se trouve ainsi simplifiée et diminuée, le

service du gazogène étant réduit dans la même proportion que la consommation du combustible.

Dans une note de M. G. Despret relative aux perfectionnements apportés aux gazogènes et fours Siemens nous trouvons que le fonctionnement d'un four avec régénération d'une partie des gaz brûlés, est assuré, en utilisant 56 1/2 % des gaz brûlés à l'échauffement de l'empilage du régérateur à air, le reste 43 1/2 % étant largement suffisant pour fournir par son passage dans les gazogènes convertisseurs un gaz combustible de richesse constante.

L'économie chiffrable serait évaluée à 50 %.

Au sujet de la régénération du carbone par injection des produits de la combustion sous la grille des gazogènes, nous résumerons en quelques lignes les conclusions auxquelles est arrivé M. Fourcault dans ses études sur les gazogènes à injection de produits brûlés (*Revue universelle des mines*, 3e série, t. X). « Il est avantageux de refroidir les « gaz pendant leur formation aux gazogènes afin de les introduire à « une plus basse température dans les empilages. »

« Ce résultat a été atteint utilement jusqu'à présent par l'introduc- « tion de vapeur d'eau dans la masse du combustible en ignition, et « nous soutenons qu'il est plus rationnel de réaliser ce refroidissement « par l'introduction de l'acide carbonique des gaz brûlés que de toute « autre matière, car on peut de la sorte récupérer une partie de la « chaleur latente de vaporisation du carbone.

« Cette dépense de force, ou mieux de chaleur, sera faite ainsi une fois « pour toutes pour la quantité de carbone que l'on régènerera. Tous « les efforts doivent tendre à réaliser économiquement l'introduction « dans les gazogènes de produits de combustion à la plus haute tempé- « rature possible. »

Comme ayant beaucoup d'analogie avec le système de régénération

des gaz brûlés, que nous venons d'exposer ci-dessus, nous indiquerons le procédé de M. C. Steffen.

Dans ce procédé, on recueille par voie de dissolution dans l'eau, l'acide carbonique contenu dans les gaz brûlés, et c'est ce gaz ainsi dépouillé d'azote qu'on injecte, soit seul, soit mélangé à de la vapeur, sous la grille d'un gazogène convertisseur.

On obtient ainsi un gaz combustible très riche et d'un pouvoir calorifique très élevé.

Ce procédé, dont l'application doit d'ailleurs présenter de sérieuses difficultés, n'a pas encore reçu la sanction de la pratique.

Il n'en est pas de même des gazogènes, forme Siemens, modifiés par M. Lencauchez. Ces appareils sont à radier de sole de grille arrosé et à vent soufflé, ou à jet de vapeur. Ils donnent des gaz très riches dont la teneur en produits utiles peut atteindre 35 %.

Nous reproduisons ci-dessous la composition de gaz obtenus dans des conditions différentes à l'aide de ces gazogènes, et nous engageons vivement le lecteur à se reporter, pour complément de renseignements, à l'intéressante étude qu'a publiée M. Lencauchez sur l'enrichissement du gaz des gazogènes. (*Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils de France,* octobre 1892).

	Aux fines de houille	Au coke	A la houille et à l'air chaud	A l'air froid soufflé
Hydrogène.	6,88	10,83	18,80	11,00
Oxyde de carbone . . .	25,84	21,76	21,30	26,65
Protocarbure d'hydrogène .	3,85	1,10	4,10	4,86
Bicarbure d'hydrogène . .	0,57	1,38	0,50	0,27
Oxygène	0,00	0,00	0,70	0,00
Acide carbonique. . . .	0,45	3,57	1,60	3,42
Azote	62,41	61,36	53,00	53,80
	100,00	100,00	100,00	100,00

Nous dirons quelques mots d'une modification apportée au four primitif de Siemens, par M. Charneau. Les figures 49 et 50 font voir que l'accumulateur se compose d'une série de petits conduits *a a a* paral-

lèles, construits avec des briques de dimensions courantes dans lesquelles passent les flammes perdues qui circulent tout en descendant dans la masse de briques pour aller rejoindre la cheminée d'appel par le carneau C.

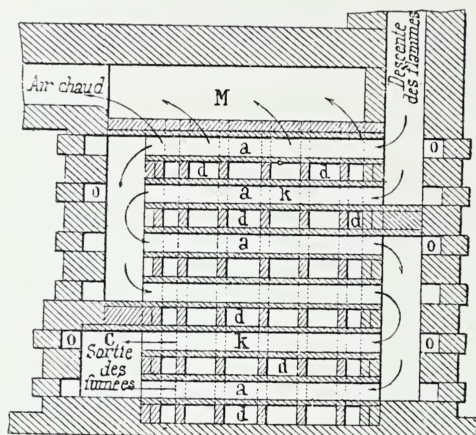


Fig. 49.

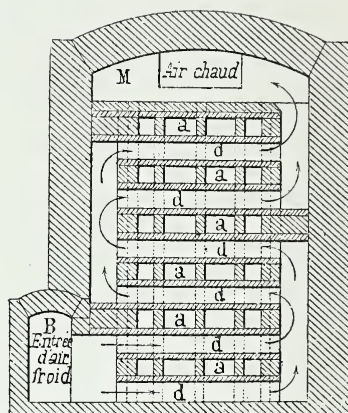


Fig. 50.

L'air à chauffer entre par le conduit B placé sur une des faces de la chambre de briques pour pénétrer dans l'appareil par une série de petits conduits parallèles horizontaux *d d d* construits perpendiculairement sur ceux du passage des flammes; il monte en s'échauffant pour gagner la chambre d'air chaud M et de là se rendre aux brûleurs par un ou plusieurs conduits suivant les nécessités.

On voit par l'examen des figures que chaque tranche d'air est enveloppée par deux tranches de flammes et, réciproquement, chaque tranche de flammes est enveloppée par deux tranches d'air à chauffer. La séparation des flammes et de l'air à chauffer est faite par un carrelage établi au moyen de petits carreaux K à recouvrement ou avec des briques ordinaires. En raison des petits conduits qui sont construits perpendiculairement les uns sur les autres, les joints sont complètement étanches puisqu'ils sont couverts dans tous les sens par une épaisseur de briques pleines; il est donc matériellement impossible qu'il y ait

communication entre les tranches de flammes et les tranches d'air à chauffer. Nous pouvons dire que c'est le seul appareil qui, malgré sa simplicité, offre cet avantage.

Le poids de la masse de briques est suffisant pour assurer sa parfaite stabilité; de plus, tous les conduits sont prolongés jusqu'à la rencontre des murs de la chambre et forment ainsi une série de murettes verticales qui viennent buter sur les quatre pans du massif de briques et empêcher toute espèce de dislocation.

Des regards *o*, *o*, *o*, sont ménagés dans les murs de fermeture de l'accumulateur de façon à pouvoir vérifier son état et nettoyer les poussières ou dépôts qui auraient pu s'arrêter dans les conduits de fumée. Le nettoyage peut se faire sans inconvénient pendant la marche du four.

Nous terminerons ce chapitre en donnant la description d'un gazogène d'invention récente et dont l'application donne paraît-il de très bons résultats.

On sait que le décrassage est la principale difficulté qu'on rencontre dans l'emploi des gazogènes. C'est une opération pénible pour les ouvriers et en même temps défectueuse au point de vue de l'utilisation du combustible en ce sens qu'elle occasionne un déchet considérable.

Les moyens qui réussissent le mieux pour atténuer cette difficulté sont: ou d'employer des houilles très pures et par conséquent très coûteuses, ou de donner aux gazogènes une allure très lente qui ne permette pas aux mâchefers de s'agglomérer par la fusion. Mais l'allure froide conduit à une augmentation notable des dimensions des appareils, d'où surcroît de dépense d'installation.

Ce qui distingue le *gazogène Taylor* dont l'invention remonte à environ six ans et dont les applications sont déjà nombreuses aux Etats-Unis, c'est que le décrassage s'y opère sans aucune difficulté, et n'occasionne aucun déchet. On l'exécute en pleine marche sans apporter aucun trouble à l'allure de l'appareil.

Le *gazogène Taylor* se présente sous la forme d'un cylindre vertical en tôle de 4 mètres de hauteur, garni à l'intérieur d'une chemise en briques réfractaires.

Ce gazogène n'a pas de grille proprement dite. Les mâchefers réunis dans une trémie viennent s'écouler sur un plateau auquel on peut donner un mouvement de rotation au moyen d'une manivelle agissant sur un jeu de roues dentées.

Le plateau mobile roule au moyen de galets sur le plateau fixe. Par cette disposition on évite tout ajustage précis, les dilatations se font librement et la rotation se produit sans grand effet.

A l'état de repos, le cône d'éboulement des mâchefers s'arrête au bord du plateau mobile, mais si on imprime à ce dernier un mouvement de rotation, les mâchefers s'écoulent sur tout son pourtour et tombent dans le cendrier. On facilite cette chute au moyen de barres de fer qu'on enfonce plus ou moins dans le cône de mâchefers.

Les mâchefers ne deviennent jamais collants, parce qu'ils sont constamment refroidis par le jet de vapeur et d'air.

Pour mettre l'appareil en marche on commence par remplir de mâchefers la trémie, on ajoute ensuite un peu de bois et de copeaux qu'on allume, et par dessus une certaine quantité de combustible.

Voici la moyenne des analyses du gaz obtenu avec ce gazogène.

	Houille anthracite	Houille grasse
CO	27.0	27.0
CO^2	12.1	12.0
H	1.2	2.5
C^2H^4	2.5	2.0
A*z*	57.2	56.5
	100.0	100.0

Pour parer à l'inconvénient résultant de l'agglomération accidentelle des mâchefers, soit par la négligence de l'ouvrier, soit par l'emploi de combustible à cendres trop fusibles) on a ménagé à la hauteur de la trémie tronconique, plusieurs portes de travail que l'on ouvre en cas de besoin.

FOURS CHAUFFÉS PAR LE GAZ NATUREL

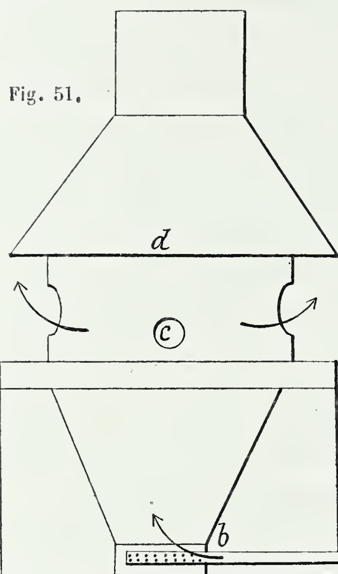
L'époque n'est pas éloignée où dans certains pays le chauffage au charbon, au gaz, sera remplacé par les huiles ou essences de pétrole, par les gaz naturels même ; c'est ce qui a lieu actuellement à Pittsbourg, à 150 kilomètres environ de New-York, où toutes les industries implantées en ce pays, et elles sont fort nombreuses, emploient ce moyen de chauffage.

Le gaz naturel de Pittsbourg a réduit de moitié la consommation du charbon dans cette ville, et il est probable qu'il le remplacera tout à fait dans l'avenir. On s'en sert aujourd'hui dans les fabriques principales, dans les hôtels, dans les établissements publics, et son emploi se généralise, même dans les résidences particulières. Comme il ne résulte de l'emploi de ces gaz ni poussière, ni noir de fumée, la proportion de suie dans l'atmosphère est déjà réduite de 50 %, et elle diminue de moins en moins. Mais il n'y a pas seulement progrès sous le rapport du bien être et de la propreté ; il y en a sous le rapport de l'économie.

Un des directeurs des verreries de Pittsbourg déclare que, par l'emploi du gaz comme combustible, au lieu du charbon, il obtient une économie considérable. Une partie de cette économie résulte de la nature du combustible ; une autre consiste dans le fait que le gaz ne laisse pas d'escarbilles, et que l'enlèvement des cendres ou escarbilles, ainsi que leur transport, coûte, avec le chauffage au charbon, de 3 à 4.000 dollars par an. Il y a encore une autre économie dans le travail : le four dans lequel on brûle du charbon exige deux hommes occupés au chargement, à 17 dollars par semaine chacun ; le four à gaz n'en demande pas un ; il n'y a pas besoin d'entretenir le feu, ni de remuer le combustible. Enfin, l'économie la plus grande et la plus importante, réside dans la durée des fours. Le four à glaces, demandant une chaleur d'environ 1.600 à 1.800° s'use assez rapidement en brûlant du charbon, tandis qu'avec le gaz pour combustible ; sa durée est notablement augmentée.

Sans exagérer les avantages à tirer de l'emploi du gaz naturel, en réalité, il ne peut y avoir de doute sur les faits. Le seul point incertain, c'est la durée d'écoulement ou de production du gaz. Quelques personnes prétendent que ce ne sera qu'une affaire temporaire, mais ce sont les mêmes personnes probablement qui prétendaient que le pétrole ne durerait pas; si le gaz naturel tient les promesses faites en son nom, il sera la cause d'une révolution sérieuse dans les manufactures, et surtout dans les contrées où on le trouve à l'état naturel, le gaz y est beaucoup plus répandu, plus universel qu'on ne le pensait.

Fig. 51.



Ainsi la fig. 51 montre un four à verre chauffé par le gaz naturel (ce gaz contient des hydrocarbures, de la paraffine). Le gaz entre par un tuyau de 0,025 *a*; ce tuyau est perforé à l'extrémité placée à l'intérieur du four. L'air entre en *b* par un espace ouvert au bout du tuyau, et dont on régularise l'entrée en augmentant ou diminuant la section. Les gaz en excès ou brûlés sortent par les ouvertures *c*, et se rendent ensuite à la cheminée d'appel en passant par la porte *d*. La grille des anciens fours est ici un bâti de briques. On peut, dans les fours transformés, laisser la grille, mais on la couvre d'une série de briques, de façon que l'air soit appelé en même temps par des ouvertures parallèles, afin de permettre la combustion.

Voici le four (fig. 52) employé dans certaines verreries de Pittsburg, et qui est un perfectionnement de celui décrit ci-dessus. Le gaz arrive dans le tube *a*, de $0^{m},055$ à $0^{m},060$ de diamètre, qui s'étend le long des deux parois du four; de ce tube s'en détachent d'autres d'un diamètre plus faible (environ $0^{m},01$), par lesquels le gaz entre dans le four par

les fentes *b* pratiquées dans le siège du four. L'air entre en *c*, monte par les canaux *d* et pénètre dans le four au-dessus des arrivées de gaz en *e*; c'est là le point de combustion d'où la flamme pénètre dans le four. Les produits de la combustion s'échappent, par les ouvertures *f*, dans les cheminées d'appel. Une quantité déterminée d'air est introduite par la porte *g* pendant l'opération de l'affinage afin d'aider à l'obtention d'une haute température; cet air est donc introduit dans le four d'une façon facultative.

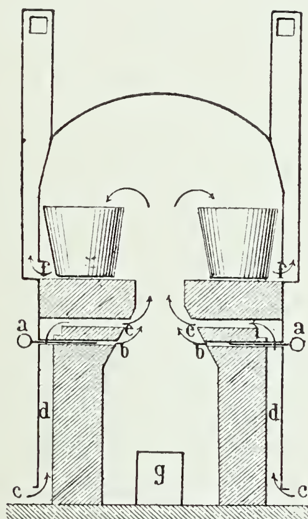


Fig. 52.

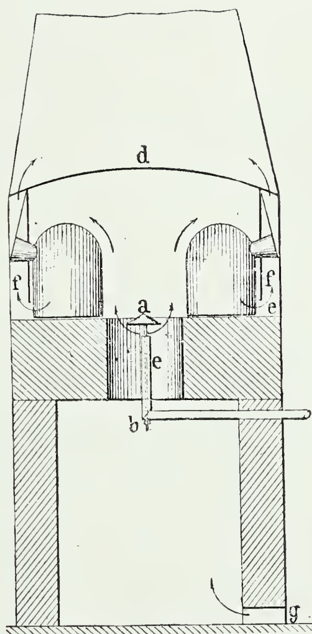


Fig. 53.

Il nous est impossible de déterminer ce qui a trait au chauffage des fours de fusion par le gaz naturel, sans parler de deux autres appareils employés avec succès dans les verreries et cristalleries d'Amérique. Cette description complète ce que nous avons dit au sujet des fours de fusion, et place cette question au niveau des progrès les plus récemment réalisés en verrie pour le chauffage des fours.

La figure 53 représente le four Atterburg, employé en cristallerie, et qui peut être aussi employé en verrerie.

Ce brûleur perfectionné consiste en un capuchon *a* construit en briques réfractaires. Il est de forme conique et d'environ 10 pouces de diamètre; il est fixé dans sa position par un barreau *b* en fer d'environ 1/4 de pouce de diamètre, qui passe le long du tube *c*. Ce capuchon peut varier dans le sens de sa position verticale.

Le but de ce capuchon, c'est la réfraction du gaz tandis qu'il s'échappe du tube *c*. Ainsi, il s'étend et se mélange plus intimement avec l'air, et par là augmente la combustion. Le tube *c* à gaz a 3 pouces de diamètre; il s'ouvre à la partie supérieure dans toute sa dimension, le barreau tige *b*, qui supporte le capuchon passant au travers. Le capuchon protège aussi lacouronne *d* qui sans lui serait vite détériorée, si on permettait au gaz d'arriver directement entre elle en s'échappant du tube *c*.

L'air entre par un certain nombre d'ouvertures étroites *g* dans le mur, au niveau du sol; on en régularise l'arrivée et le débit en les fermant avec des briques. Les gaz perdus s'échappent par les ouvertures jusqu'aux conduits *f* et vont de là à la cheminée; il suffit d'environ 10 onces de pression pour ce four.

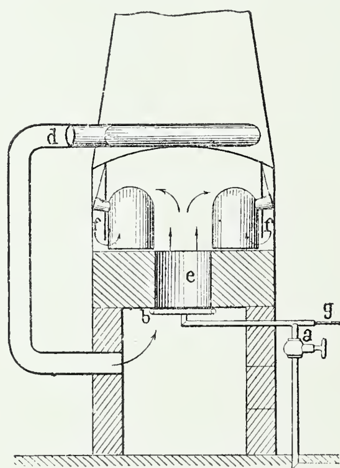


Fig. 54

Le four représenté par la figure 54 est dû à M. Joseph Anderson; il est employé à la glacerie américaine de O'Hara.

Il y a plusieurs innovations dans ce four : la première est la méthode de chauffer l'air pour la combustion; la seconde est la disposition qui permet d'employer la benzine, ou tout autre combustible liquide, par lequel on peut conserver le four chaud, dans le cas où le gaz viendrait à manquer. Le gaz est réglé par la valve *a;* le brûleur *b* est un tube de 1/2 pouce de forme circulaire, percé de nombreux petits trous, d'en-

viron 1 millimètre à 1 millimètre 1/2 de diamètre, et placé sous le siège du four, comme on peut le voir. Il est placé de manière que le verre (légèrement ramené en arrière), qui coule des pots cassés pour aller dans la cuve, ne le rencontre pas et n'empêche pas l'échappement régulier des gaz.

Le brûleur est à deux sections, dont l'une peut, en tout temps, être enlevée pour les réparations, ou pour toute autre cause, tandis qu'on peut, avec l'autre, conserver au four sa température, car il y a un tube fournisseur séparé pour chaque section.

L'air nécessaire à la combustion entre dans le tube régénérateur en *d*, passe par ce tube en descendant, en sort, remonte, comme l'indiquent les flèches sur le dessin, et vient en contact avec le gaz sous le siège du four en *e*. Ce tube régénérateur est fait d'une forte feuille de fer ; il a environ 16 pouces de diamètre ; il est de forme circulaire, aussi grande que possible. On le place dans la souche de la cheminée, juste au-dessus de la voûte ou chapeau du four, de manière que la chaleur perdue, qui s'échappe par les tuyaux *f*, frappe directement sur lui, élevant la température de l'air, et aidant ainsi grandement à l'obtention d'un haut degré de chaleur pour cet air, au moment où il arrive en contact avec les gaz.

La possibilité de maintenir la chaleur dans ce four, dans le cas où le gaz viendrait à manquer pour une cause quelconque, est d'une grande importance.

La méthode d'emploi d'un combustible fluide au lieu de gaz est facile avec ce four. Le petit tube *g* est en communication avec la cuve ou tout autre réservoir qui contient le liquide destiné à la combustion, et cette cuve est élevée de manière que l'huile coule tout naturellement jusqu'au brûleur *b*. Quand on emploie le combustible liquide, la valve à gaz *a* est fermée, et une autre valve sur le tube *g*, qui communique à la cuve, est suffisamment ouverte pour permettre au liquide de ruis-

seler goutte à goutte dans le brûleur *b*, où la chaleur le vaporise immédiatement, et d'où il s'échappe exactement comme le gaz ; il vient en contact avec l'air chaud, et la combustion s'opère. Ce four a fait ses preuves, on y a travaillé constamment depuis le jour où, pour la première fois, on a employé le gaz naturel, c'est-à-dire depuis plus de trois ans, sans avoir eu besoin de réparations, et il ne paraît pas devoir en nécessiter de longtemps.

GAZ A L'EAU.

La fabrication du gaz à l'eau a pris une importance considérable en Amérique (États-Unis), où on l'a surtout utilisé à l'éclairage.

En Europe, on n'a encore fait que de rares applications de ce gaz soit pour l'éclairage, soit pour le chauffage industriel.

Pour utiliser le gaz d'eau à l'éclairage, il faut lui donner le pouvoir éclairant qui lui manque, en le carburant au moyen de dérivés du pétrole. C'est ce qu'on pratique aux Etats-Unis, où la houille à gaz est très rare, et dont les quelques gisements sont tellement éloignés des grands centres de consommation, qu'il est moins coûteux de la faire venir d'Angleterre.

En revanche, on trouve aux Etats-Unis de l'anthracite et du pétrole à bon marché, de sorte que, malgré les inconvénients que présente le gaz à l'eau, il y a intérêt à l'employer pour l'éclairage.

Nous dirons d'abord quelques mots de ce mode d'utilisation du gaz à l'eau, et nous étudierons ensuite sa valeur comme gaz combustible pour le chauffage des fours.

Le gaz à l'eau est obtenu dans des gazogènes à air soufflé, et par intermittence avec du gaz ordinaire (à l'air) de gazogène. Au début, le gazogène est soufflé au vent, et l'on obtient ainsi un gaz sem-

blable à celui que donnent les appareils Siemens, c'est-à-dire un mélange d'oxyde de carbone et d'azote. Cette première période se termine quand le foyer atteint une température suffisamment élevée, ce que l'on peut juger par des regards. A ce moment, on arrête la soufflerie, et on fait arriver un courant de vapeur.

La vapeur d'eau, au contact du charbon rouge se décompose en produisant de l'hydrogène et de l'acide carbonique. Ce mélange, en traversant les couches supérieures du coke incandescent, se dépouille de son acide carbonique, lequel se transforme en oxyde de carbone.

On obtient finalement un gaz dont la composition moyenne est sensiblement :

CO	47
H.	46
CO^2.	3
Az	4
	100

On cesse d'introduire la vapeur quand la température n'est plus suffisamment élevée pour permettre la réduction de Co^2 ; on remet alors en marche la soufflerie d'air, et ainsi de suite.

Dans des essais faits sur l'emploi du gaz d'eau en 1872, par M. Tessié du Mothay, on soufflait de l'air pendant 10 minutes, puis de la vapeur pendant 5 minutes; les insufflations d'air et de vapeur se reproduisant et alternativement pendant les mêmes intervalles de 10 et 5 minutes.

Comme le gaz d'eau et le gaz de gazogène, ainsi obtenus, ont une puissance calorifique bien différente, on les recueille chacun dans un gazomètre distinct, en utilisant le gaz d'air au chauffage des fours, et réservant le gaz d'eau pour l'éclairage. Quoique le gaz à l'eau soit, à volume égal, d'un prix moins élevé que le gaz d'éclairage, il n'est pas encore établi d'une manière bien précise, si le prix de revient par bec, à intensité lumineuse égale, est plus faible dans le cas du gaz à l'eau. En effet, le volume de gaz à fournir, devant être double du volume de

gaz d'éclairage produisant le même effet utile, les frais généraux sont accrus de même que les frais de canalisation, de distribution et de pertes de gaz par les conduites ; il faut encore joindre à ces frais ceux qui sont occasionnés par la carburation.

A ce sujet, nous ferons remarquer que le docteur Laffont — le défenseur de la cause du gaz à l'eau — rejette la carburation du gaz, et qu'il préfère accroître l'intensité lumineuse en produisant une sorte de lumière Drummond. L'appareil qu'il recommande dans ce but est dû à M. Otto Fahnehjelm, ingénieur suédois. Il est formé d'un peigne à carcasse métallique, dont la denture est composée d'aiguilles de magnésie à peu près de la grosseur d'une allumette-bougie. Ce peigne se fixe au-dessus d'un bec Manchester, et, comme il offre une grande surface de rayonnement, il donne à la flamme un aspect très satisfaisant.

Par ce moyen, on réalise une grande économie, quant à la quantité de gaz dépensée ; ainsi, on a trouvé qu'à consommation égale, le gaz d'eau accuse au photomètre une intensité lumineuse plus considérable que le gaz de la ville de Paris. Malheureusement, le prix très élevé des aiguilles de magnésie, et leur peu de durée (60 à 80 heures), réduit à très peu de chose l'économie ainsi réalisée sur le volume de gaz consommé.

Au point de vue hygiénique, les idées émises sur le gaz d'eau sont absolument contradictoires. Quoique ce gaz renferme près de 50 % d'oxyde de carbone, dont les propriétés toxiques ne sont pas mises en doute par le docteur Laffont, cet hygiéniste n'admet pas que le gaz d'eau soit plus dangereux que le gaz ordinaire d'éclairage. Il reproche à ce dernier d'absorber trop d'oxygène en brûlant, et de dégager par conséquent un volume considérable d'acide carbonique et de vapeur d'eau ; en outre, dit-il, la combustion, toujours imparfaite, donne naissance à de l'acétylène, laisse échapper de l'oxyde de carbone et des vapeurs sulfureuses.

Tous ces produits ne sont pas à redouter lorsqu'on brûle du gaz d'eau, car la combustion qui se produit sur une petite surface est toujours complète à cause de la haute température, en sorte que — et nous citons textuellement — « le gaz d'eau qui, dans la conduite peut être considéré comme plus vénéneux que le gaz de distillation, l'est en réalité moins lorsqu'on le brûle. »

Et le docteur Laffont ajoute, en s'appuyant sur l'autorité de son confrère, le professeur Chandler, président du conseil d'hygiène de New-York, que le gaz est *acheté pour être brûlé et non pour être aspiré.*

Ceci est parfaitement exact, mais il est également vrai que, s'il se produit une fuite dans un appartement, il se trouvera bien vite dans l'air une dose d'oxyde de carbone suffisante pour occasionner des accidents graves ou même la mort ; ces accidents sont beaucoup moins à craindre avec le gaz ordinaire d'éclairage, qui est beaucoup moins toxique et dont l'odeur décèle la présence bien avant que l'air soit devenu irrespirable.

On a cherché, et on est arrivé, par l'emploi du mercaptan, à communiquer au gaz à l'eau une odeur qui permette d'être rapidement fixé sur les fuites qui pourraient se produire, mais malgré tout, les diverses Commissions d'hygiène, qui se sont occupées de la question, ont généralement prescrit, une série tellement longue de précautions, qu'elle équivaut à une proscription absolue.

Cependant, on a affirmé à l'Institut du fer et de l'acier que 300 villes des États-Unis se servent du gaz à l'eau pour leur éclairage. Il est donc à présumer que les chances d'accidents sont en réalité peu nombreuses, et que, d'un autre côté, il y a avantage au point de vue financier. C'est ce que l'expérience de plusieurs années fera connaître.

Laissant de côté l'utilisation du gaz d'eau pour l'éclairage, comparons ce gaz au gaz ordinaire de gazogène, et cherchons à prévoir quel sera son avenir comme combustible.

Nous avons calculé que 1 kilogramme de carbone, transformé en gaz à l'eau fournit $3^{m3},72$ d'un gaz composé à volumes égaux de :

$1^{m3},86$ oxyde de carbone donnant	5.592	calories
$1^{m3},86$ hydrogène	4.846	—
Soit au total. . . .	10.438	calories.

La température de combustion sans excès d'air, étant 2758° (nous admettons qu'on peut comparer entre eux divers combustibles par la détermination de la température dite théorique). Le volume total des produits de la combustion serait de :

$$\underset{Co^2}{1^{m3},86} + \underset{Ho}{1^{m3},86} + \underset{\text{Azote}}{7^{m3},44} = 11^{m3},16 = \frac{11,16}{3,72} = 3 \text{ fois la valeur.}$$

Dans le cas du gaz à l'air, nous trouverions que 1 kilogramme de carbone fournirait :

$1^{m3},86$ CO
$3^{m3},72$ Azote

Soit 5^{m3}, 58 gaz combustible, dont la puissance calorifique est de 5.592 calories, la température de combustion sans excès d'air étant de 1818°, et le volume occupé par les produits de la combustion s'élevant à

$$1^{m3},86 + 7^{m3},44 = 9^{m3},30 \quad . \; . \; . \; . \; . \quad \text{soit } \frac{9,30}{5,58} = 1,66 \text{ fois}$$

Des chiffres ci-dessus, nous pouvons tirer les conclusions suivantes : avec un poids donné de carbone, transformé en gaz à l'eau, on obtiendra comparativement à ce que fournirait le même poids de carbone transformé en gaz à l'air ;

1° Un volume de gaz combustible moins considérable, quoique contenant une quantité double d'éléments combustibles (ce qui permettra de faire usage de gazogènes plus petits, et par suite d'une conduite plus facile);

2° Un volume plus considérable de gaz brûlés (d'où possibilité de chauffer un espace de plus grande capacité sans dépenser plus de houille ou de coke);

3° Une température plus élevée de (2757°-1818°) = 939° (ce qui abrégera la durée du travail au four).

Nous n'ignorons pas que les excédents signalés ci-dessus, en faveur du gaz à l'eau, ne sont pas obtenus gratuitement, nous admettrons même qu'il faudra fournir aux gazogènes une quantité de chaleur au moins égale, peut-être supérieure, à celle qu'on obtiendra comme excédent au four ; mais, quand même on serait en perte du côté du gazogène, n'existe-t-il pas certains cas particuliers où, la nécessité d'obtenir au four une température plus élevée que celle qu'on peut obtenir avec le gaz à l'air, rendra cette perte plutôt fictive que réelle ? Ce sera une quantité négligeable en raison des immenses avantages qu'on retirera, dans ces cas particuliers, de l'emploi du gaz à l'eau.

En résumé, nous ne mettons pas en doute que, étant donnés les perfectionnements apportés dans la construction des appareils destinés à produire et à utiliser le gaz à l'air, ce gaz soit produit plus économiquement qu'un égal volume de gaz d'eau, mais nous notons que le gaz d'eau, en raison de son pouvoir calorifique élevé, de l'accroissement considérable de volume qui résulte de sa combustion, et de la haute température qu'il permet d'obtenir, est appelé à remplacer le gaz d'air dans la plupart de ses applications, surtout dans celles qui nécessitent une température élevée.

A en juger d'ailleurs par l'extension de cette application aux usines d'Essen et de Hoerde, qui les premières en ont tenté l'essai, il est logique de penser que les résultats ont été satisfaisants.

ANALYSE DES GAZ COMBUSTIBLES

Le but de l'analyse des gaz dans les laboratoires industriels est d'avoir, à chaque instant, des données sur la marche des divers appareils produisant ou utilisant le gaz. Ces données ne sont pas seulement d'un haut intérêt théorique, mais encore d'un intérêt pratique considérable, car ce n'est que par elles qu'on est arrivé à avoir des vues exactes sur la valeur intrinsèque des gaz, sur l'utilisation plus ou moins parfaite du combustible dans les gazogènes, sur la forme à donner à ceux-ci, et sur l'utilisation plus ou moins rationnelle des gaz combustibles dans les fours, etc.

Il est inutile de signaler plus longuement ici tous les avantages qu'on peut tirer de l'analyse du gaz ; la preuve la plus éclatante des services qu'elle a rendus, est l'extension rapide que cette branche spéciale de l'analyse a prise depuis quelques années.

De nombreux appareils ont été imaginés pour rendre les analyses de gaz aussi précises que possible, en même temps que très rapides, et d'une exécution facile.

Une des difficultes principales est d'obtenir un bon échantillon moyen.

En effet, la nécessité de n'opérer que sur un faible volume ne permet pas de recueillir du gaz pendant une longue durée, d'où cause d'erreur résultant des variations de composition du gaz.

Le meilleur moyen à notre avis consiste à prendre d'abord un courant principal à grand débit à la source de gaz, et sur ce courant, de brancher un courant secondaire plus faible, lequel constituera la prise d'essai moyenne.

Nous ne pouvons pas ici nous étendre sur les divers procédés et méthodes en usage dans l'analyse des gaz ; nous nous contenterons d'in-

diquer au lecteur qu'il pourra puiser de sérieux et utiles renseignements à ce sujet dans les ouvrages ci-dessous (1).

Parmi les nombreux appareils dont on peut faire usage pour l'analyse rapide des gaz, nous indiquerons et décrirons sommairement l'appareil inventé par M. Coquillion. Il ressemble quelque peu à l'appareil bien connu d'Orsat, mais il a sur ce dernier l'avantage de permettre d'effectuer rapidement et de façon sensiblement exacte, le dosage des hydrocarbures ; en outre on évite, en ramenant le gaz dans le mesureur avant chaque lecture — l'inconvénient et les erreurs résultant des tubes capillaires.

L'appareil (fig. 55) se compose d'un tube mesureur M divisé en 100

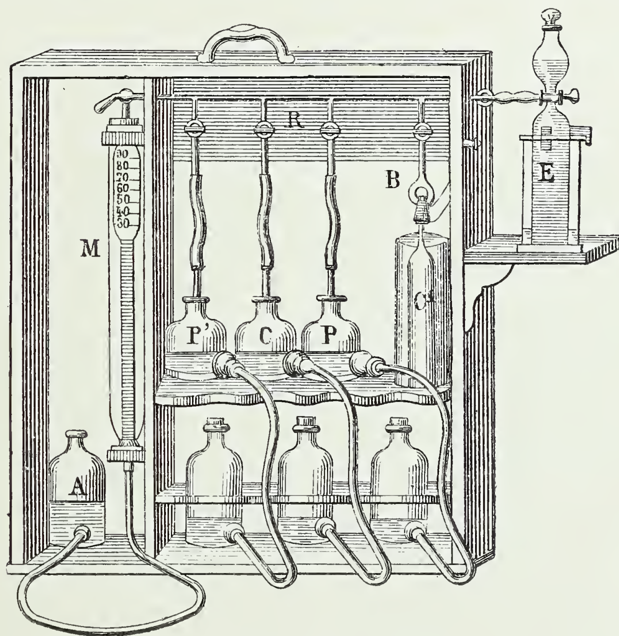


Fig. 55.

parties égales, mais dont la partie inférieure, d'un diamètre plus étroit, est graduée en dixièmes. Ce mesureur est entouré d'un manchon plein

1. *Encyclopédie chimique. Gaz et analyse*, par M. Ogier; — *Manuel pratique de l'Analyse industrielle des gaz*, par Ch. Winkler; — *Traité pratique de Chimie métallurgique*, traduit de l'allemand par E. Vlasto.

d'eau pour maintenir la température constante ; il est relié à la partie inférieure, à un flacon élévateur contenant de l'eau ; à la partie supérieure avec un tube capillaire horizontal formant la rampe R et à un petit tube recourbé *t* d'introduction du gaz. La rampe est en relation avec trois flacons à réactifs P', C, P ; (P' renfermant une solution de potasse, P contenant du pyrogallate, C contenant du chlorure de cuivre) avec le brûleur B, se continuant par la cloche C', et enfin, à son extrémité, avec une cloche E surmontée d'un réservoir à brôme. Cette cloche E est destinée spécialement au dosage des carbures de la série $C^{2n} H^{2n}$, et elle peut facilement être séparée du reste de l'appareil, dans le cas où on n'a pas à effectuer le dosage de ces divers carbures.

Le brûleur B consiste en une petite cloche élargie à son sommet et fermée par un bouchon en caoutchouc muni de trois trous. Dans deux de ces trous passent des tiges verticales en laiton servant à fixer à l'intérieur du brûleur un fil de palladium qui sera porté au rouge par le courant de deux piles Bunsen. Le troisième trou du bouchon en caoutchouc porte une cloche C' plongeant dans une éprouvette toute remplie d'eau.

Supposons qu'on veuille faire l'analyse d'un gaz renfermant CO^2.O. Co.C^2H^4.Az.H'C^4H^4 *ou homologues*. On opère d'abord à l'aide des cloches P', C, P, le dosage de Co^2.O.Co. Le gaz est ensuite chassé dans la cloche E où on introduit quelques gouttes de brôme, de là le gaz est ramené dans le mesureur après avoir été dépouillé des vapeurs de brôme dans le flacon à potasse. La diminution de volume représente C^4H^4 et homologues. Le dosage de C^2H^4 et H s'effectue en faisant circuler le gaz additionné au préalable d'une quantité déterminée d'oxygène dans le brûleur B dont le fil de palladium est porté au rouge. On détermine après la combustion, le volume du CO^2 formé d'où on déduit la teneur en C^2H^4. D'après la contraction observée après combustion, on connaît l'hydrogène et enfin après absorption de l'excès d'oxygène on mesure di-

rectement l'azote. Ce dosage direct de l'azote est en même temps un contrôle du dosage de l'hydrogène.

On ne doit faire aucune lecture avant d'avoir, au moyen de la cloche C', fait passer un courant d'eau dans la rampe R, ce qui ramène la totalité du gaz dans le mesureur. Cette possibilité de faire des mesures exactes rend très précieux l'usage de l'appareil Coquillion, dont le seul inconvénient (partagé par tous les instruments du même genre) est de ne pas donner de certitude absolue quant au dosage du Co^2, en raison de la solubilité de ce gaz dans l'eau. On peut atténuer cet inconvénient en faisant usage d'eau tenant en dissolution du chlorure de sodium.

BOMBE CALORIMÉTRIQUE DE M. BERTHELOT

MODIFIÉE PAR M. MAHLER

Cet appareil (fig. 56), inventé par M. Berthelot, et modifié par M. Mahler, ingénieur des mines, est destiné à mesurer le pouvoir calorifique des combustibles, solides liquides ou gazeux.

Il est constitué par une enceinte métallique, sorte d'obus en acier, émaillé à l'intérieur, d'une capacité de 650 centimètres cubes, dans lequel on effectue la combustion à l'aide d'oxygène sous pression.

L'inflammation est produite à l'aide d'un courant électrique qui porte au rouge un fil de fer d'un poids connu.

La chaleur développée est communiquée à l'eau d'un calorimètre dans lequel est plongée la bombe. L'élévation de température de l'eau est constatée à l'aide d'un thermomètre gradué en centièmes de degré.

Cet appareil nous paraît devoir donner des résultats absolument exacts; cependant, dans le cas de combustible gazeux, il nous semble que les résultats ont besoin d'être complétés par l'analyse chimique.

En effet, des gaz possédant le même pouvoir calorifique, peuvent en

pratique se comporter de façon bien différente; ils peuvent, pour leur combustion, ne pas exiger le même volume d'air, et par suite ne pas donner la même température. — *Exemples :*

	I	II	III	IV	V
CO	21.00	25 00	23.00	19.00	27.00
CO^2	2.00	4.00	6.00	7.00	2.00
C^2H^4	5.00	3.00	5.00	4.50	1.00
H	12.00	4.10	»	6.00	8.20
Az	60.00	63.90	66.00	63.50	61.80
	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Pouvoir calorifique par m³.	1.114	1.114	1 114	1.114	1.114
Vol. des produits brûlés .	1.860	1.882	1.960	1.950	1.804
Température théorique de combustion	1.808°	1.808°	1.716°	1.716°	1.866°

Il peut donc y avoir, entre les températures de combustion de deux gaz possédant le même pouvoir calorifique, un écart très considérable (150° entre le IV et le V).

Il est logique d'admettre que ces écarts de température ne sont pas sans influence au point de vue pratique.

Ainsi, dans certains cas, il est des réactions qui exigeant une température de 1.800°, ne pourront pas être réalisées avec les gaz III et IV, tandis qu'elles s'effectueront facilement avec le gaz V, et cependant l'emploi de la bombe calorimétrique aurait indiqué, pour ces divers gaz, une valeur identique, puisqu'ils ont tous pour pouvoir calorifique 114 calories par mètre cube.

En outre, il est encore un élément dont l'emploi de la bombe ne permettrait peut-être pas facilement de tenir compte, à savoir la vapeur d'eau, qui existe dans le gaz en proportion variable. Dans des

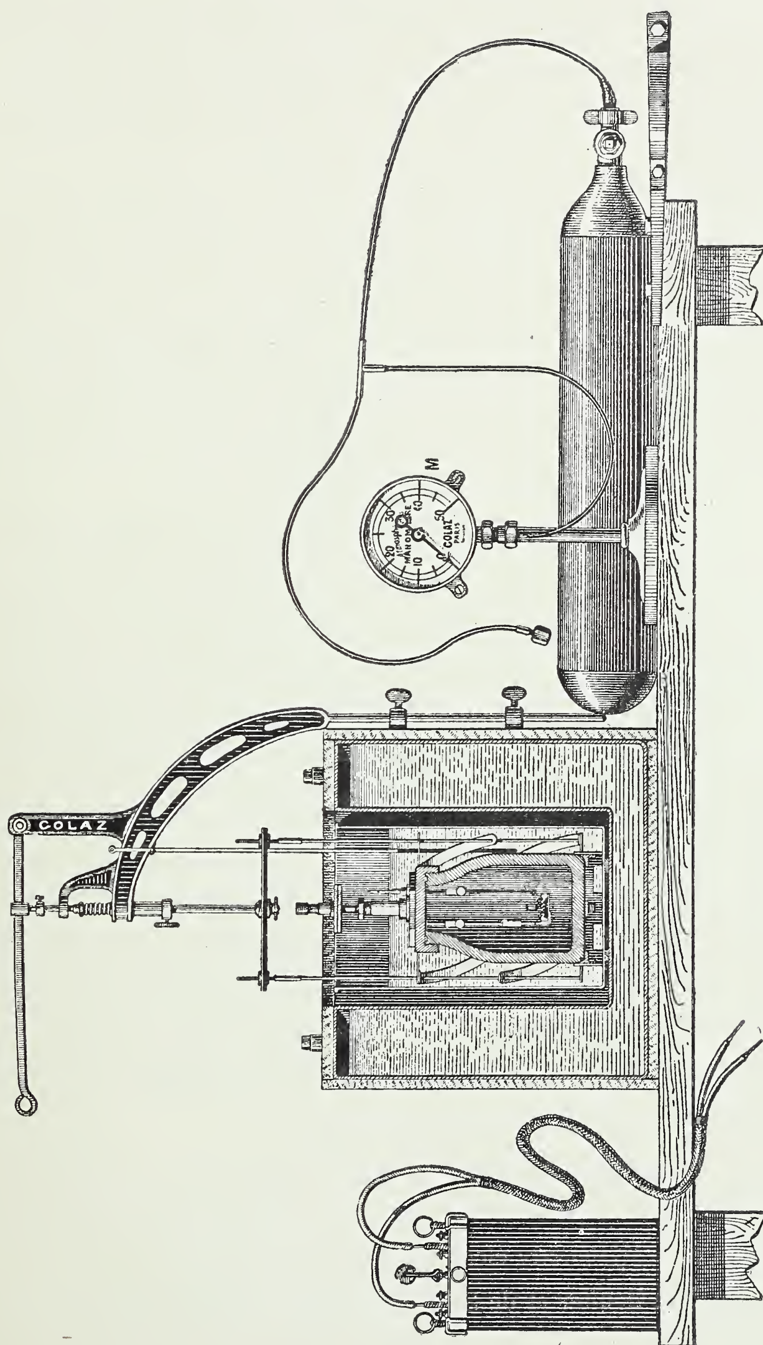


Fig. 56.

essais faits sur des gazogènes, on a trouvé jusqu'à 5 % de vapeur d'eau en volume, soit 50 litres par mètre cube, ou environ 40 grammes.

Or, un gaz renfermant 40 grammes de vapeur d'eau par mètre cube, serait saturé pour une température de 30 à 35°.

Pour que la bombe puisse tenir compte de l'eau dans l'essai d'un semblable gaz, il faudrait que la combustion s'effectue dans un laboratoire dont la température soit au moins égale à 35°. L'eau du calorimètre, ainsi que la bombe, devraient naturellement aussi posséder une température de 35°. Peut-être, M. Mahler tourne-t-il la difficulté par un moyen qu'il est assez facile de concevoir, mais il n'en est pas fait mention dans les descriptions de son appareil.

Il est du plus haut intérêt au point de vue de la conduite régulière d'un four et par suite de la régularité du travail qu'on y opère, de pouvoir déterminer à chaque instant, ou du moins pendant les diverses phases du travail, quelle est la température que possède le four.

Un nombre infini de pyromètres ont été inventés, reposant sur les principes les plus variés, et malheureusement il faut reconnaître que la plupart ne peuvent avoir d'application sérieuse.

C'est ainsi qu'après avoir employé d'une manière générale le pyromètre à argile de Wedgwood, on a essayé et finalement rejeté les pyromètres métalliques, puis le pyromètre calorimétrique de Regnault plus ou moins modifié par Fischer, Weinholdt et Wilson. De même et pour la même raison — défaut de comparabilité entre les indications fournies par un même appareil — on a délaissé le pyromètre électrique de Siemens.

Parmi les pyromètres susceptibles de fournir des renseignements sensiblement exacts, nous citerons celui de MM. Boulier frères et de Saintignon et le pyromètre électrique de M. Lechâtelier.

Le pyromètre Boulier et de Saintignon est un appareil calorimétrique reposant sur le principe suivant :

Un courant d'eau circule dans le milieu dont on veut déterminer la température, avec une vitesse et une pression constantes. Le débit étant ainsi uniforme, la température de l'eau s'élèvera d'autant plus que le milieu sera à une température plus élevée. Il suffit donc de mesurer l'accroissement de température du courant d'eau, ce qu'on obtient par la lecture des indications données par deux thermomètres placés, l'un à l'entrée, l'autre à la sortie de l'eau.

Le reproche le plus grave qu'on puisse faire à cet appareil, c'est que, après un certain temps de fonctionnement, le tube de circulation d'eau se recouvre intérieurement d'incrustations provenant du dépôt des matières tenues en dissolution dans l'eau et que la chaleur précipite. On remédie à cet inconvénient en faisant usage d'eau de pluie filtrée, ou mieux d'eau distillée.

En outre, quand le four, dont on veut déterminer la température, fonctionne avec une flamme réductrice, il se produit à l'extérieur du tube un dépôt de matières charbonneuses, qui fait varier la conductibilité du métal et vient fausser les résultats.

Dans la pratique on écarte cette cause d'erreur en entourant d'une gaîne en poterie le tube de circulation d'eau. Cette manière de faire a, en outre, l'avantage de faire indiquer à l'appareil ce que nous appelléRons la température moyenne du four, en ce sens qu'elle permet d'éviter les variations brusques dues à des « coups de chalumeau ».

PYROMÈTRES DE LE CHATELIER

Le pyromètre Le Châtelier est basé sur la mesure de l'intensité d'un courant produit par l'échauffement de la soudure d'un couple thermo-électrique; réuni par un conducteur double à un galvanomètre. Le couple est composé de platine Rhodié.

Cet appareil permet de prendre des températures périodiquement aux différentes phases du travail d'un four avec des erreurs ne dépassant pas 25° centigrades. Ce sont là des indications précieuses que l'on obtiendra avec ce pyromètre.

Malheureusement cet instrument n'est pas assez robuste pour pouvoir être mis entre les mains d'un ouvrier, et en outre il ne peut servir à suivre d'une façon continue les variations de température. En raison des modifications que les températures élevées apportent dans la structure des métaux, la conductibilité varie assez rapidement et on doit procéder fréquemment à une graduation nouvelle.

Un seul intermédiaire peut transmettre à l'observateur l'état calorifique d'un foyer sans éprouver d'altération, c'est la matière vibrante : l'éther. Il faut donc absolument dans la construction d'un pyromètre robuste, utiliser les radiations lumineuses des corps incandescents, c'est-à-dire chercher simplement à remplacer l'œil comme appareil de mesure, par un appareil qui soit plus précis tout en restant assez simple. C'est sur ce principe qu'est basée la lunette de MM. Mesuré et Nouel, (dont nous donnons plus loin la description) laquelle peut servir seulement à constater, soit l'invariabilité, soit le sens de variation de la température sans qu'on puisse espérer obtenir une précision de moins de 50°.

PYROMÈTRE OPTIQUE.

Poursuivant ses recherches sur les hautes températures, M. *Le Châtelier* a étudié un nouveau pyromètre basé sur la mesure de l'intensité absolue d'une radiation déterminée, émise par le corps incandescent. Il ne tient pas compte, — après en avoir reconnu le peu d'influence — des différences de pouvoir émissif, des divers corps pour une même température, d'ailleurs, dans la pratique, les corps se comportent généra-

lement comme s'ils avaient le même pouvoir émissif, puisqu'ils sont renfermés dans une enceinte sensiblement en équilibre de température avec eux.

Le photomètre (fig. 57) que M. *Le Châtelier* a adopté pour la construction de son nouveau pyromètre, est celui de M. Cornu qui permet de comparer l'image réelle du corps incandescent et celle de la flamme d'une petite lampe à pétrole. Les intensités sont ramenées à l'égalité par l'interposition d'un certain nombre de verres, nuance fumée, et ensuite par l'ouverture variable d'un diaphragme dit œil de chat, placé contre l'objectif. Un verre rouge placé devant l'oculaire permet de n'examiner que des radiations monochromatiques.

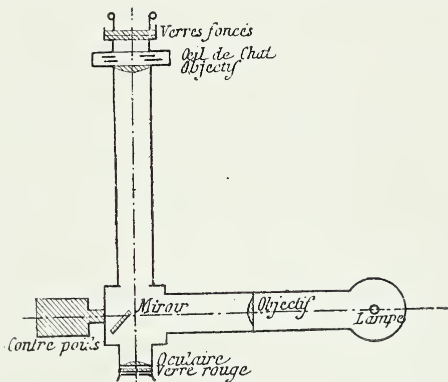


Fig. 57.

Le pouvoir absorbant de chacun des verres est mesuré au moyen du diaphragme « œil de chat » en visant une même source lumineuse avec ou sans l'interposition du verre foncé. Les intensités lumineuses sont rapportées à celles de la partie brillante de la flamme d'une lampe étalon à acétate d'amyle.

La graduation de l'instrument a été obtenue en mesurant l'intensité lumineuse d'une sphère de palladium fondue sur la soudure d'un couple thermo-électrique. On a fait deux graduations ; l'une qui s'applique à tous les corps renfermés dans une enceinte de température uniforme, l'autre aux corps placés à l'air libre, pourvu que leur pouvoir émissif soit voisin de celui du palladium (platine, argile).

Il résulte d'expériences faites aux usines du Creusot, qu'il est facile, avec ce pyromètre d'obtenir des mesures de température concordant à

10° près, ce qui est suffisamment précis pour des essais industriels. Cet appareil (auquel manque la sanction de la pratique) semble donc convenir parfaitement lorsqu'il s'agit de régler empiriquement la marche d'une opération métallurgique, céramique ou toute autre semblable. Ses indications restent absolument comparables entre elles.

LUNETTE PYROMÉTRIQUE DE MM. MESURE ET NOUEL.

La détermination courante de la température des corps incandescents s'obtient, en général par l'appréciation de leur nuance lumineuse, en appliquant l'échelle de Pouillet. Le procédé est rapide, mais il manque de précision : l'observation obtenue est variable pour divers observateurs ou pour le même observateur opérant à divers intervalles de temps ou dans des usines, différemment éclairées, cette méthode exige un œil fréquemment exercé.

La lunette pyrométrique de MM. Mesuré et Noüel (fig. 58 et 59) écarte ces inconvénients en ramenant la détermination des nuances lumineuses à l'observation rapide et pratique d'un phénomène comparable à lui-même en toutes circonstances et susceptibles d'être mesuré.

Cette lunette basée sur les phénomènes de polarisation rotatoire, comprend essentiellement : un polarisateur et un analyseur dont le réglage à l'extinction donne le zéro de la graduation du cercle divisé. Ce cercle divisé en degrés est mobile devant un index fixe. Entre les deux nicols est situé un quartz d'épaisseur convenable, bien calibrée. Ce quartz est taillé perpendiculairement à l'axe.

Une loupe vise l'ouverture garnie d'une glace parallèle ou à volonté d'un verre diffusant dépoli très doux.

Si l'on examine avec ce polarimètre spécial, un corps incandescent, les proportions des divers rayons simples qu'il émet, variant avec la

température, il s'en suivra que pour une rotation donnée de l'analyseur, la teinte composée obtenue sera différente de cette température et que le passage d'une teinte à une autre se fera pour un angle variable suivant la nuance lumineuse du corps incandescent.

Il suffit d'observer le corps incandescent à travers cette lunette et de faire tourner lentement l'oculaire dans le sens de la graduation de son cercle. On trouve bientôt une position variant entre 20 et 90° où la teinte perçue passe rapidement du vert au rouge ; cette transition s'opère vers un point de la graduation qui diffère suivant la nuance lumineuse (et par suite la température) du corps incandescent.

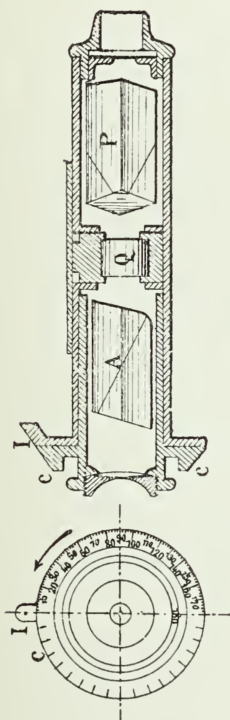


Fig. 58.

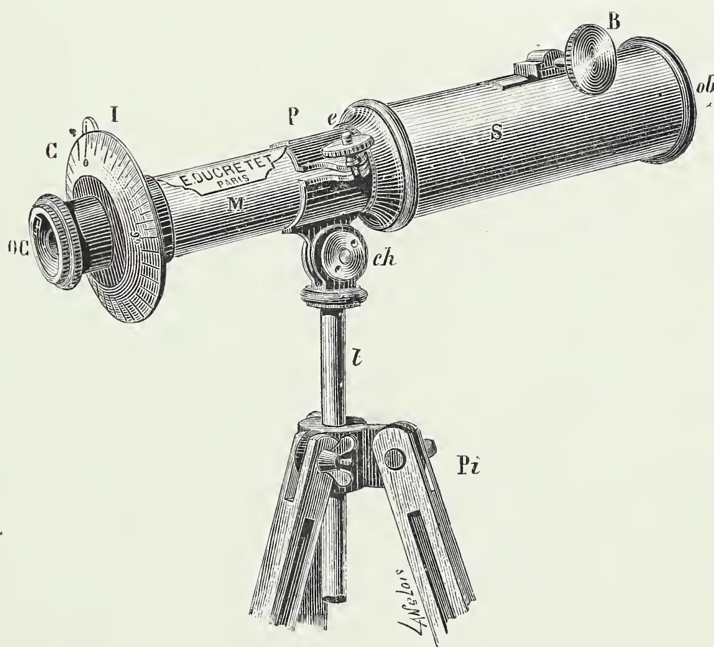


Fig. 59.

Le passage du vert au rouge se produit par une rotation angulaire assez faible de l'analyseur ; entre ces deux couleurs franches, on observe

aisément une autre teinte dite de passage, d'une nuance « citron sale ».

C'est cette teinte de passage qu'il faut observer ; c'est à elle qu'on arrête la rotation de l'analyseur ; au chiffre donné sur le cercle par l'observation de cette teinte sensible, correspond la température du corps incandescent. Cette température a donc pour mesure le nombre de degrés dont on a fait tourner l'analyseur devant l'index fixe.

Dans les lunettes pyrométriques en service courant, depuis quelques années aux usines de Saint-Jacques, à Montluçon, et qui sont semblables à celles que M. Ducretet construit pour l'industrie, les degrés d'angle observés pour cette teinte de passage, correspondent en degrés centigrades aux chiffres ci-dessous.

Dégrés du cercle	40°	donnant	900°	centigrades	courrespondant	au rouge cerise	Teinte de l'échelle de Pouillet du foyer incandescent
—	46	—	1.000	—	—	— clair	
—	52	—	1.100	—	—	orangé foncé	
—	57	—	1.205	—	—	— clair	
—	62	—	1.300	—	—	au blanc	
—	66	—	1.400				
—	69	—	1.500				

Il peut arriver dans certains cas que l'appareil reçoive quelques rayons de lumière blanche diffuse en temps que les rayons du corps incandescent dont on veut apprécier la température, et les résultats sont alors légèrement faussés ; on obvie à cet inconvénient en prolongeant la lunette par un tube noirci à l'intérieur et plus ou moins allongé. S'il y a dégagement de gaz chauds pour le four qu'on étudie, il convient de fermer ce tube par un verre placé à l'extrémité.

Les températures inférieures à 900° sont généralement difficiles à apprécier à cause de la faible quantité de lumière, on adapte alors une lentille de grand diamètre qui concentre plus de lumière comme dans la disposition représentée sur la figure ; mais pour les températures plus élevées on peut même supprimer cette lentille, comme on le fait dans les lunettes employées actuellement.

La monture de la lentille extrême est mobile pour permettre d'atteindre le diaphragme intérieur. La lunette est coupée en T, afin qu'on puisse enlever le quartz, vérifier et mettre la virole à l'extinction par rapport au zéro de la graduation. Les montures sont à vis et guides pour avoir un démontage parallèle et non concentrique afin d'éviter un déréglage.

La graduation gravée en E suivant la longueur de la lunette que découvre le mouvement de l'objectif, à la façon d'un palmer, est établie pour les distances de l'objet visé à l'objectif, depuis l'origine jusqu'à $0^{m},50$; cette graduation est tracée d'après la formule connue

$$\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}.$$

Nous ferons la remarque suivante concernant l'emploi de la lunette pyrométrique. Il est souvent nécessaire d'observer la température de divers métaux qui pendant leur fusion, donnent des vapeurs colorées, rouges, vertes, etc., qui viennent troubler l'observation de la teinte de passage. De même dans un four chauffé directement par le contact des flammes avec les corps à chauffer, l'observation est souvent entravée par le passage, dans le champ de la lunette, de courants de gaz tantôt réducteurs, tantôt complètement brûlés et dont la nuance lumineuse est par conséquent très variable.

La figure 60 montre le dispositif à employer ; il suffit de plonger dans le bain ou le foyer à observer un tube de fer ou de poterie T, fermé à un bout, et de regarder par le trou ouvert le fond de ce tube, avec la lunette pyrométrique.

On a tout le temps et les colorations du foyer ne peuvent gêner l'observation.

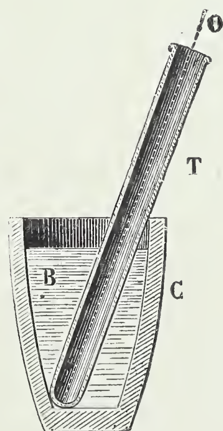


Fig. 60.

Le but que l'on doit se proposer dans l'emploi de la lunette pyro-

métrique est moins de mesurer les températures que de pouvoir suivre par des observations comparables entre-ellles, les variations de température d'un corps ou d'un foyer, ou encore de déterminer un point de repère pour la température qui convient à une opération industrielle et de pouvoir toujours retrouver ce point et le reproduire lors d'une nouvelle opération.

A ce point de vue, cet appareil, d'un emploi facile, peut rendre de grands services.

PYROSCOPES

Un procédé pyrométrique beaucoup plus simple que tous ceux dont nous venons de parler, consiste à disposer en différents points du four à étudier, des substances susceptibles de fondre et à observer le moment où elles entrent en fusion. Si on connaît le point de fusion de ces substances on sera renseigné exactement sur la température atteinte à cet instant ; si on ne la connaît pas on utilisera « ces montres fusibles », non plus pour constater la température absolue atteinte, mais pour servir de régulateur de cuisson et ultérieurement d'indicateur pour l'arrêt du four, lorsqu'on aura par expérience, établi que cet arrêt doit coïncider avec la fusion de telle ou telle substance. Naturellement ce procédé ne peut donner d'indications que sur la marche ascendante ou stationnaire de la température ; si elle décroît les montres fusibles n'indiquent plus rien.

On a d'abord employé comme « montres fusibles » des alliages de différents métaux argent et or, ce dernier alliage était employé pour la détermination des températures très élevées. Quand cet alliage renferme plus de 15 % de platine (ce qui correspond à 1.160° centigrades), les indications sont douteuses par suite d'une séparation des métaux par liqua-

tion. Aussi a-t-on dû faire usage d'argiles mélangées (suivant le point de fusion qu'on veut leur communiquer) à des substances augmentant ou diminuant leur fusibilité, telles que pegmatite, feldspath, borax, sable, craie, etc.

On emploie assez fréquemment des montres fusibles ou pyroscopes dont le point de fusion a été déterminé par comparaison avec les meilleurs appareils pyrométriques ; on en forme des séries dont le point de fusion de chacun des termes est inférieur de 25 à 30° à celui du terme qui le suit immédiatement. Avec ces pyroscopes, il est facile de reproduire une opération dont on connaît la température limite. Il suffit de placer dans le four deux montres consécutives de la série, la première présentant la température qu'il faut atteindre, la seconde indiquant la température qu'il ne faut pas dépasser.

EXAMEN DES DÉFAUTS DU VERRE

Nous venons d'exposer rapidement les modifications et perfectionnements apportés dans ces dernières années au travail du verre.

Nous avons vu qu'en ce qui concerne la fabrication proprement dite, les efforts se sont surtout portés sur les moyens de tirer le meilleur parti possible du combustible. De l'utilisation plus ou moins parfaite du combustible dépend en effet, en grande partie, l'importance du prix de revient. Un autre élément qui a également son importance est, sans contredit, la qualité, le choix du verre.

Aussi croyons-nous devoir terminer ce travail par l'exposé d'une méthode d'investigation sur les défauts du verre, persuadés d'ailleurs que bien connaître les défauts, les bien caractériser c'est presque connaître le moyen de les éviter,

Les défauts qui se produisent dans le verre au cours de sa fabrication résultent de causes très variées ; aussi, comprend-on qu'ils soient de nature différente.

Ces défauts qui altèrent la qualité du verre en en diminuant la valeur peuvent par la composition des corps qui les constituent, par leur importance et par leur nombre, causer dans certaines circonstances un trouble grave dans l'économie de toute une fabrication.

Malgré l'expérience que peuvent avoir acquise par une longue pratique les industriels chez lesquels ces accidents viennent à se produire, il leur est souvent difficile de se rendre compte d'une facon exacte de la nature et de la composition des corps qui constituent ces défauts et par suite des causes qui les ont engendrés ; ils se trouvent par suite dans l'impossibilité d'y apporter rapidement un remède efficace.

Ayant été consultés souvent au sujet d'accidents de ce genre s'étant produits dans la fabrication des verres à vitres, des verres à bouteilles, des verres de gobeletterie, nous avons dû chercher les moyens qui nous permettraient de déterminer la nature des défauts qui en sont la conséquence d'une façon certaine; c'est le résultat de ces recherches et les moyens employés pour y arriver que nous avons l'intention de faire connaître.

Les défauts qui se produisent dans le verre au moment où il est fabriqué et mis en œuvre, sont :

1° Les bouillons, les points, les crachats;

2° Les pierres et les grains ou granulations.

Les premiers qui proviennent d'un affinage incomplet de la matière vitreuse après sa fusion, ou d'un manque de soin de la part des ouvriers au moment du cueillage ou pendant le moulage, en emprisonnant dans la masse du verre des corps ou poussières organiques sont faciles à reconnaître; il suffit en effet le plus souvent d'une inspection attentive à l'œil nu ou au besoin avec la loupe pour être fixé sur leur nature.

Les seconds, de composition très variable, tout en se ressemblant beaucoup, peuvent être causés ou par un mélange imparfait des matières premières ou par des agglomérations de parties du mélange vitrifiable ayant échappé à la fusion : ce sont les infondus; ou par des portions des parois du creuset ou du bassin qui se sont détachées pendant la fusion, et pour lesquelles la température et la durée du séjour dans le four n'ont pas été suffisantes pour en opérer la combinaison : ce sont les grains de pot ou de bassin.

Des portions de la voûte ou de la couronne du four peuvent encore, en se combinant avec la partie alcaline et vaporisable du mélange vitrifiable, donner lieu à la formation d'un verre de nature spéciale plus dur que le verre contenu dans le creuset et qui s'y incorpore sans s'y dissoudre. On donne à ce genre de défauts le nom de larmes ou schlagues.

Enfin les grains ou granulations peuvent provenir du verre lui-même et être amenés par sa composition chimique en même temps que par les conditions de température dans lesquelles il s'est trouvé aux diverses phases de sa fabrication.

Les verres en effet, à une température inférieure à celle qui a été nécessaire pour en opérer la fusion, cette température étant maintenue pendant un temps suffisant, peuvent être soumis à une décomposition qui se manifeste par la formation de composés cristallisés qui en altèrent la pureté, la limpidité et la résistance.

Cette décomposition commence toujours par la formation de cristaux microscopiques qu'on ne découvre souvent que quand l'objet est terminé.

Dans tous les cas, la ténuité des grains dont il s'agit de déterminer la nature en rend la recherche très délicate : l'analyse chimique est, en effet, impuissante par suite de la difficulté qu'on éprouve à les séparer de la masse vitreuse qui les entoure; quand ils sont nombreux, ces grains ou cristaux agglomérés les uns avec les autres, semblent telle-

ment prédominants dans une masse limitée de verre, que l'analyse de cette portion cristalline paraît devoir en donner au moins approximativement la composition; mais, généralement, la matière vitreuse qui leur est intimement associée est tellement abondante que leur composition se trouve masquée par celle du verre qui leur sert de ciment.

Ils sont d'ailleurs trop petits pour être extraits par une opération mécanique; leur poids spécifique est peu différent de celui du verre ambiant, ce qui exclut l'emploi des liqueurs denses telles que l'iodo-mercurate de potasse ou le tungsto-borate de baryum ou de calcium ou enfin de l'iodure de méthylène dont M. Fouqué, le savant professeur du Collège de France, a imaginé l'emploi et a été le premier à se servir pour l'étude des roches cristallisées.

Ils ne sont pas attirables à l'aimant, et l'acide fluorhydrique les attaque en même temps que le verre lui-même. Bref, tous les moyens usités ordinairement dans l'étude des roches échouent pour la séparation des corps étrangers ou des cristaux incorporés dans les verres, et le seul moyen d'investigation qui puisse être employé dans ce cas est le microscope.

MM. Fouqué et Michel Lévy ont décrit dans leur ouvrage de *Minéralogie micrographique* justement réputé et dont l'éloge n'est plus à faire, les méthodes et les moyens basés en grande partie sur l'emploi du microscope et appliqués à l'étude des principaux minéraux et roches éruptives de la France; ce sont ces procédés que nous avons cherché à utiliser.

L'examen des matières à étudier se fait sur des lames minces d'une épaisseur de $\frac{3}{100}$ de millimètre taillées dans la masse vitreuse qui les englobe; ces lames minces sont collées au moyen de baume de Canada sur une lame de verre et posées sur le porte-objet du microscope.

Ce mode d'examen, employé pour la première fois par M. Sorby, minéralogiste anglais, et successivement par M. de Zirkel, de Heidelberg,

et par M. Rosenbach, de Leipzig, a été perfectionné encore par MM. Fouqué et Michel Lévy.

Pour déterminer la nature des cristaux on emploie plusieurs moyens d'investigation venant se compléter les uns les autres.

Grâce à la perfection des appareils dont on dispose, on peut facilement et rapidement les examiner en lumière naturelle, puis en lumière polarisée entre deux nicols en spath d'Islande croisés, ces rayons de lumière étant parallèles.

La détermination des axes optiques est complétée par celle des angles d'extinction des cristaux, en les observant en lumière polarisée et en rayons convergents successivement dans des préparations faites en coupe longitudinale et en coupe transversale.

De l'examen auquel nous nous sommes livrés, il résulte que le corps que l'on rencontre le plus fréquemment est le quartz ; c'est un corps cristallisé dont la détermination se fait facilement ; on constate très aisément qu'on a affaire à un minéral, à un axe positif et, en outre, la biréfringence peut être mesurée avec facilité.

Il se rencontre dans les parties infondues et provient comme je l'ai dit plus haut, d'un mélange imparfait des matières vitrifiables ou d'une sorte de liquation produite au moment de la fusion du verre dans un vaisseau chauffé à trop basse température.

Quand il provient de la séparation d'un fragment du bassin ou de la voûte il se trouve enrobé dans une matière amorphe, grisâtre, diffusant fortement la lumière et se distinguant surtout au microscope en lumière réfléchie ; cette matière n'est autre qu'un silicate d'alumine déshydraté non dissous dans la masse vitreuse (fig. 9) (1).

Il peut se faire que, si l'argile vient à se dissoudre, il se forme un

(1) Nous prions le lecteur de se reporter pour les figures qui suivent à notre travail, *Les défauts du verre* publié dans le numéro de Mars 1890 des *Mémoires de la Société des Ingénieurs Civils*.

feldspath cristallisé analogue à celui dont la nature nous offre des spécimens.

La présence du quartz dans ces deux cas donne beaucoup de ressemblance à ces défauts et c'est à la présence simultanée de la matière amorphe grisâtre provenant de l'argile et au développement du feldspath qu'il est possible d'en déterminer la cause.

Toutefois, la silice libre à l'état de quartz n'est pas un accompagnement obligé de l'argile et on rencontre quelquefois des pierres qui ne contiennent que du silicate d'alumine déshydraté sur l'origine duquel il n'y a aucun doute à avoir.

Ce cas se rencontre surtout dans les défauts sous forme de grains que l'on trouve dans le cristal ou le demi-cristal, le quartz devant être exclu des terres servant à faire les creusets dans lesquels on les fond ; ceux-ci se perceraient rapidement en effet par suite de l'attaque qu'en ferait l'oxyde de plomb qui entre dans la composition.

La présence du quartz à l'état de grains non dissous dans le verre amène d'une façon infaillible la fêlure d'abord et la rupture ultérieure de la pièce dans laquelle il est incorporé.

Quand il est allié à de l'argile ou quand l'argile est seule, la rupture de la pièce est moins certaine, le coefficient de dilatation de l'argile étant sensiblement le même que celui du verre.

Ce dernier défaut est celui qu'on rencontre le plus fréquemment dans les fours à bassins employés presque exclusivement pour la fabrication des verres à vitres et des bouteilles ; il provient de l'attaque des parois à la hauteur de la flottaison.

Si ce sont des corps cristallisés auxquels on a affaire, leur composition chimique dépend essentiellement de celle du verre lui-même.

Quand le verre est entièrement sodique et calcique, c'est de la wollastonite qui se produit.

Quand le verre est magnésien et ferrugineux, c'est un pyroxène magnésien de la formule du diopside qui se forme.

Si le verre contient de l'alumine en même temps que de la potasse, de l'oxyde de fer et de la magnésie, c'est de la mélilite à la variété artificielle de laquelle on donne le nom de Humboldtilite.

Enfin dans certains cas particuliers plus rares, on voit se développer des cristaux de feldspaths, de la variété connue sous le nom d'oligoclase et de labrador.

Dans tous les cas, surtout en même temps que la humboldtilite, on voit se produire un minéral réfringent et très biréfringent en longues aiguilles prismatiques très étroites dont la détermination minéralogique n'a pu encore être faite rigoureusement.

Parmi les minéraux précités, la wollastonite est celui que l'on rencontre le plus communément dans les verres. C'est un bisilicate de chaux (CaO, SiO^2) appartenant à la famille des pyroxènes ; elle cristallise dans le système monoclinique, les cristaux sont allongés parallèlement à l'orthodiagonale ; dans les verres, elle forme de longues aiguilles prismatiques très étroites qui ont quelquefois plusieurs centimètres de longueur, mais dont la largeur dépasse rarement 0,005m, et l'épaisseur 0,001m ; elle est incolore et transparente, cependant elle se distingue déjà en lumière naturelle au microscope à cause de sa réfringence voisine de 1,63 et très légèrement supérieure à celle du verre ambiant.

Quand on l'observe en lumière polarisée, parallèle, entre les nicols croisés, on constate les faits suivants :

Les sections longitudinales polarisent dans des teintes qui varient du bleu grisâtre au jaune pâle ; toutes s'éteignent rigoureusement en long ; le signe d'allongement n'est pas constant, la plupart de ces sections présentent un allongement de signe positif, les autres qui sont en général les moins brillantes ont un allongement de signe négatif.

Les sections transversales sont courtes et très étroites, tout en demeurant encore légèrement allongées.

Entre les nicols croisés, elles se colorent de teintes d'un rose violacé, elles s'éteignent obliquement sous des angles dont nous donnons ci-après la valeur.

Ces propriétés suffisent pour montrer que, comme la wollastonite naturelle, les cristaux en question appartiennent au système monoclinique et que le plan des axes optiques est perpendiculaire à la direction d'allongement.

Les observations en lumière convergente confirment ces données de l'observation en lumière parallèle : on s'assure, en effet, que le plan des axes optiques est parallèle aux sections transversales, que la bissectrice aiguë est assez rapprochée de la normale aux sections longitudinales dont l'allongement est de signe négatif et la bissectrice obtuse peu éloignée de la normale aux sections longitudinales dont l'allongement est de signe positif; dans les deux cas on observe, d'ailleurs, des images symétriques par rapport à la direction d'allongement; on constate en même temps que la bissectrice est négative et que l'écartement des axes est d'environ 40 degrés.

Un essai chimique confirme encore la détermination des cristaux en question, comme wollastonite.

En effet, si, après avoir découvert une préparation et l'avoir nettoyée à la benzine, on la laisse séjourner vingt-quatre heures à froid dans l'acide chlorhydrique, on s'assure aisément que les cristaux sont attaqués, tandis que le verre ambiant est inaltéré.

La préparation lavée à l'eau distillée donne un liquide où l'oxalate d'ammoniaque décèle la présence de la chaux, et la préparation elle-même traitée par une goutte de solution de violet d'aniline se teint dans tous les points où l'attaque a mis en liberté de la silice gélatineuse.

La wollastonite développée dans le verre par un phénomène de dévi-

trification offre une grande tendance à se disposer sous forme radiée; les figures 1, 2, 3, 4, 5, qui représentent des sections de dévitrifications à wollastonite vues en lumière polarisée entre les nicols croisés portent toutes l'indication de cette tendance.

Il arrive même que la wollastonite forme dans le verre des sphérolithes dont le volume peut atteindre la grosseur du poing.

Les figures 1 et 2 représentent : la première, une portion de section radiale; la seconde, une portion de section tangentielle d'un nodule de 6 centimètres de diamètre.

La figure 14 représente, en grandeur naturelle, une masse vitreuse contenant un grand nombre de petits sphérolithes de wollastonite.

La wallastonite se montre dans certaines dévitrifications accompagnée d'un pyroxène jaune verdâtre qui, vu en lame mince, est à peine nuancé d'une légère teinte jaune ; il possède toutes les propriétés du diopside des roches naturelles ; la réfringence et la biréfringence sont celles que l'on attribue d'ordinaire au diopside.

Ce pyroxène se présente également sans accompagnement de wollastonite; dans ce cas, le verre dévitrifié présente généralement une couleur verte plus ou moins foncée et grisâtre.

Les figures 8 et 10 représentent des dévitrifications caractérisées par le développement des diopsides.

La figure 9 représente une dévitrification dans laquelle le diopside et la wollastonite figurent à peu près en égales proportions.

La mélilite (humboldtilite) se montre soit en groupements irréguliers, soit sous forme de sphérolithes, soit en amas cristallitiques. Les figures 12 et 13 représentent deux types de ces associations de cristallites de humboldtilite. On y voit les éléments formés par ce minéral disposés en rangées alignées dans deux directions à angle droit.

Les sphérolithes sont composés de petits cristaux allongés parallèlement à la base (001) et disposés tangentiellement autour d'un centre.

La figure 11 donne une idée de l'un de ces groupements vu au microscope en lumière parallèle entre les nicols croisés.

Tous les caractères optiques qui ont été étudiés ne laissent aucun doute sur la détermination du minéral.

On peut, du reste, dans la plupart des cas, constater son attaque aux acides et vérifier au moins qualitativement sa composition.

De même que la wollastonite et le diopside, la humboldtilite présente fréquemment de très beaux exemples d'inclusions vitreuses à bulle.

De l'étude dont nous venons de donner le résultat, on peut déduire quelques conséquences utiles au point de vue de la composition des verres et des qualités qu'il est possible de leur donner suivant les usages auxquels ils sont destinés.

Il en ressort en effet que le phénomène de la dévitrification du verre, sur lequel les opinions ont été longtemps partagées, s'explique naturellement par la formation, dans la masse vitreuse colloïde, de silicates cristallisés, simples ou multiples, de composition différente du verre qui leur a donné naissance, et que, de plus, ces silicates, dont la formation est une cause de dépréciation du verre dont ils altèrent la limpidité et la résistance en en augmentant la fragilité, et dont il faut par suite chercher à éviter la formation, se produisent à des températures différentes pour chacun d'eux suivant leur composition chimique, cette température étant, en tous cas, inférieure à celle à laquelle la fusion du mélange et la combinaison des éléments vitrifiables se sont opérées.

La chaux étant la base terreuse la plus employée par suite de son abondance dans la nature, du bon marché auquel elle peut être obtenue à l'état de pureté et des qualités qu'elle donne au verre quand elle est en combinaison avec la potasse ou la soude, il est naturel de chercher à en augmenter la proportion le plus possible; on est arrêté dans cette voie par le phénomène de la dévitrification et la formation de wollastonite qui se produisent d'autant plus facilement que la proportion de

chaux est plus grande, à une température relativement élevée, très voisine de celle requise pour le travail du verre en objets façonnés.

La magnésie est dans le même cas, et son addition à la chaux préexistante ne fait qu'accentuer ce phénomène en donnant lieu à la formation de diopside d'une part, et de wollastonite d'autre part.

Cette observation est conforme à celle de Péligot, qui avait été amené, par l'analyse de cristaux provenant des dévitrifications du verre de Blanzy et par l'étude cristallographique faite par M. des Cloiseaux, à penser que la magnésie même jouait un rôle prépondérant dans ce phénomène. Il n'en est pas de même de l'alumine qui, en venant s'ajouter aux bases précédentes, est susceptible de donner ou des feldspaths ou des cristaux de la famille des mélilites dont la formation est beaucoup plus difficile.

Même en opérant aux températures convenables, les expériences de MM. Fouqué et Michel Lévy constatent que la cristallisation du feldspath ne se fait qu'avec une grande lenteur, et quant au mélilite, sa formation implique à la fois la présence dans le verre de la potasse, de l'alumine, de la magnésie et du fer en proportion notable, conditions qui se trouvent bien plus souvent réalisées dans les matières vitreuses des hauts-fourneaux que dans les produits des verreries.

La première raison est, à notre avis, celle de la grande stabilité des verres alumineux qui peuvent être travaillés indéfiniment sans donner de cristallisation, quoique la somme des bases terreuses soit souvent supérieure à la quantité de chaux qui, dans un verre unique, serait suffisante pour amener rapidement la dévitrification.

La présence dans un verre de certaines bases, alumine et potasse, a pour résultat de diminuer la faculté qu'a ce verre de se dévitrifier, puisque les silicates d'alumine et de potasse sont relativement peu fusibles et surtout difficilement cristallisables ; il semble que les verriers devraient s'attacher à produire les verres réalisant ces conditions,

d'autant plus qu'il en résulterait pour eux une économie notable d'argent, l'alumine étant un produit d'une valeur infiniment moindre que les alcalis proprement dits, potasse et soude.

En tous cas, l'introduction de l'alumine présente des avantages comme moyen d'empêcher la dévitrification, car les feldspaths et les mélilites, silicates alumineux, sont moins fusibles que les minéraux du groupe des pyroxènes, silicates non alumineux.

Il serait très facile aux verriers de se procurer à bas prix des calcaires argileux d'une composition telle qu'il leur suffirait d'ajouter du sable et un peu de base alcaline pour obtenir des verres stables.

Certains verriers ont pu, par l'emploi de feldspaths naturels de composition convenable, introduire en même temps que l'alumine des bases alcalines potasse et soude indispensables, réalisant ainsi les meilleures conditions de résistance et d'économie.

Si dans les fabrications du verre à bouteilles pour lesquelles les qualités recherchées et exigées sont la solidité et l'inaltérabilité sous l'action des liquides acidulés, on peut employer des matières impures donnant une composition à bases multiples de proportions non constantes, il n'en est plus de même dans la fabrication des verres qui, outre ces qualités primordiales, doivent posséder d'autres qualités, entre autres d'être parfaitement incolores. C'est le cas des verres pour la lunetterie et l'optique.

L'examen que nous venons de faire des produits de la dévitrification du verre ordinaire et du verre à bouteilles nous conduit à quelques considérations théoriques relativement à leur constitution.

Deux théories ont été proposées pour expliquer ces phénomènes; quelques chimistes, et à leur tête Berzélius, ont émis l'opinion que le verre dévitrifié n'était autre chose que la matière vitreuse ayant acquis des propriétés nouvelles par la cristallisation; cette opinion partagée encore aujourd'hui par un grand nombre de verriers a été soutenue

par Pelouze dans un travail sur la cristallisation du verre lu en 1874 à l'Académie des sciences.

« La dévitrification, dit ce savant, consiste en un simple changement physique du verre. »

Il se base pour adopter cette conclusion sur ce fait que de nombreuses analyses ne lui ont montré qu'une différence insignifiante de composition entre le verre primitif et la même matière après dévitrification.

Il admet implicitement qu'un verre quelconque est susceptible de se transformer entièrement en une matière cristallisée.

D'après lui, le fait se passerait notamment pour le silicate de soude et de chaux qui constitue les verres tels qu'on les compose ordinairement et dans lesquels la silice, la soude et la chaux n'entrent pas en proportions définies.

Cette explication en contradiction avec les lois connues de la chimie n'est évidemment justifiée que dans des cas particuliers ; ce sont ceux dans lesquels le verre présente la composition d'un minéral défini ou bien encore d'un mélange de minéraux définis susceptibles de cristalliser.

On connaît de nombreux exemples de faits de ce genre. Ainsi les expériences de MM. Fouqué et Michel Lévy ont montré que l'on pouvait faire cristalliser intégralement les verres ayant la composition de l'oligoclase, du labrador, de l'anorthite, de la népheline, des pyroxènes, etc.

D'autres expériences plus complexes des mêmes auteurs ont permis d'obtenir à l'état cristallisé des mélanges de plusieurs silicates qu'ils avaient préalablement fondus en un verre limpide et parfaitement homogène ; nous citerons comme exemple la reproduction du basalte composé de feldspath, de labrador, d'olivine, d'augite et de fer oxydulé, nous citerons aussi la reproduction de certaines néphélinites composées

de néphéline, d'augite, de spinelle, de grenats-mélanite et fer oxydulé.

Dans ces derniers cas, la cristallisation du verre formé avec le mélange chimique employé était complète, mais on comprend très bien que dans un grand nombre de cas on puisse imaginer des mélanges qui ne soient pas susceptibles de se résoudre en un agrégat de substances cristallisées.

Une seconde théorie, plus rationnelle, a été proposée en 1830, par J.-B. Dumas; ce savant a considéré la dévitrification comme une cristallisation du verre due à la formation de composés définis infusibles à la température existante au moment de la dévitrification et impliquant, dans la plupart des cas, la formation d'un résidu amorphe correspondant à un mélange chimique dont les éléments, soit combinés, soit isolés, ne sont pas connus à l'état cristallisé.

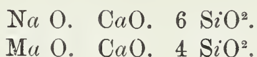
Il admet que cette infusibilité relative est le résultat, tantôt de la volatilisation alcaline, tantôt d'un simple partage dans les éléments du verre; les alcalis passent alors, d'après lui, dans la portion qui conserve l'état vitreux.

Pour M. Dumas, les éléments cristallisés ne préexistent pas dans le verre et ne se forment qu'au moment de la dévitrification.

Pour d'autres auteurs, le verre, malgré son homogénéité apparente, contient déjà dans sa masse des composés définis s'en séparant au moment de la cristallisation.

D'après cette opinion, le verre dévitrifié aurait une constitution identique à celle qu'il présente à l'état fondu; ce serait une sorte de dissolution des éléments cristallisables faite à une haute température dans une matière dissolvante avec conservation de la molécule cristalline au sein du dissolvant.

Benrath a discuté la question de savoir quel était le dissolvant en question et lui a attribué les compositions suivantes :



Na O. CaO. 6 SiO².
Ma O. CaO. 4 SiO².

Mais nous ferons remarquer que, même en admettant l'assimilation du verre aux dissolutions, il serait impossible d'attribuer aux deux silicates précités le rôle que l'on a voulu leur donner : en effet, dans les cas de cristallisation complète qui ont été cités précédemment, l'agent dissolvant n'a pu présenter cette composition surtout d'une façon constante ; il a dû présenter des compositions incessamment variées pendant la durée de la cristallisation et, en dernier lieu, être identique au minéral qui a cristallisé postérieurement à tous les autres.

Ainsi donc, il faut écarter l'idée d'un dissolvant unique et commun à tous les verres, en un mot, d'un verre normal.

Un second point très intéressant de la question est celui de savoir dans l'hypothèse précédente, si ce sont véritablement les minéraux cristallisés par l'effet de la dévitrification qui sont en dissolution dans le verre.

La comparaison avec les dissolutions aqueuses, tout à fait légitime dans le cas qui nous occupe, ne paraît pas justifier cette manière de voir. On sait, en effet par des expériences variées, qu'en général les sels en dissolution n'ont pas la composition de ceux que l'on obtient par une cristallisation de la matière dissoute.

Les expériences faites au moyen de la dyalise, l'étude des refroidissements produits par la dissolution des sels, enfin l'examen des substances solubles douées de la polarisation rotatoire justifient parfaitement cette conclusion.

Les études des pétrographes contredisent aussi l'opinion que les éléments définis, compris dans une sorte de dissolution au sein d'un verre homogène, sont identiques à ceux que révèle une cristallisation par dévitrification.

Comme exemple, nous citerons ce fait qu'un verre ferrugineux agit très peu sur l'aiguille aimantée, tandis que si l'on soumet ce verre à un recuit qui amène sa dévitrification, on y fait naître aisément des cristaux microscopiques de fer oxydulé et alors la matière est devenue fortement magnétique.

On peut donc dire que le fer oxydulé ne préexistait pas, mais qu'il a pris naissance par la dévitrification.

Ainsi, tout en admettant que le verre est un mélange de corps à composition définie, dont les molécules plus ou moins complexes offrent des groupements déterminés propres à chacune d'elles, nous pensons que les molécules en question sont différentes, dans la plupart des cas, de celles qui entreront ensuite dans la constitution des cristaux du verre dévitrifié.

Les phénomènes que présente le sucre de canne suivant qu'il est cristallisé ou fondu, c'est-à-dire à l'état de verre ou dissous, vont nous permettre de faire ressortir avec plus de netteté l'interprétation que nous venons d'exprimer au sujet de la composition intime du verre.

Le sucre cristallisé est dépourvu de polarisation rotatoire; il possède, au contraire, cette propriété, soit quand il est à l'état de sucre d'orge, soit quand il est dissous ; ce fait montre déjà la similitude des verres et des dissolutions ; il montre, en outre, que le réseau moléculaire qui appartient aux cristaux est détruit dans les cas de dévitrification ou de dissolution.

Dans ces deux cas, la molécule élémentaire du sucre reste seule en évidence et sa désignation se trahit par les phénomènes de polarisation rotatoire auxquels il donne naissance.

Cet exemple est très frappant en ce sens qu'il montre bien la différence qui existe entre un verre et une matière cristalline de même composition.

Le verre renferme des molécules complexes ayant une composition

et une symétrie propre, mais ces molécules n'offrent aucun groupement régulier ne formant pas de réunion jusqu'au moment où commence le phénomène de dévitrification.

Il nous reste à considérer la question des relations existant entre la composition chimique du verre et celle des cristaux qu'il est susceptible de produire.

J.-B. Dumas, comme nous l'avons vu ci-dessus, avait émis l'idée que les cristaux provenant d'une dévitrification étaient toujours plus acides que le résidu vitreux de cette opération; dans certains cas particuliers, l'opinion de M. Dumas est justifiée par l'observation.

Des exemples nombreux de dévitrification observés, soit dans des roches naturelles, soit dans des hauts-fourneaux, montrent effectivement que dans certains cas, assez nombreux eux-mêmes, il y a production de silice cristallisée sous forme de tridymite. .

Les expériences de reproductions artificielles, effectuées à haute température par M. Hautefeuille, lui ont permis d'obtenir, au sortir d'un bain alcalin, non seulement la tridymite, mais encore du quartz cristallisé.

M. Fouqué a obtenu de la silice cristallisée sous forme de tridymite associée à un pyroxène calcique. en dévitrifiant un verre formé de 63 % de silice et 37 % de chaux. Nous avons tout dernièrement observé une formation abondante de lamelles de tridymite dans les fissures de grains de quartz enclavés dans un verre.

Les grains de quartz en question avaient 1/2 à 1 millimètre de diamètre ; ils avaient en grande partie perdu leur action sur la lumière polarisée; il se montraient parsemés de nombreuses inclusions, les unes vitreuses, les autres gazeuses.

Ces grains étaient séparés en plusieurs fragments par des fentes irrégulières, larges de quelques centièmes de millimètres et remplies par de la matière vitreuse.

Dans ces interstices, la tridymite se montre en lamelles d'une extrême minceur, souvent hexagonales, implantées normalement sur des fragments quartzeux en présence.

Quand la tridymite se montre sur la tranche, elle agit sur la lumière polarisée et ressemble beaucoup, par sa biréfringence et son signe d'allongement, à de l'albite ou de l'oligoclase.

Dans ce cas, la tridymite n'est pas le résultat d'une simple dévitrification ; elle provient de la réaction mutuelle qu'ont exercée l'un sur l'autre le quartz et une matière vitreuse fondue.

La présence du quartz demeuré solide au milieu de la matière en fusion a déterminé la cristallisation de la tridymite aux dépens du verre très siliceux logé dans les fentes du minéral.

Cette influence est d'ailleurs manifestée par la disposition de la tridymite en touffes normales à la surface des fragments quartzeux.

C'est un fait analogue à celui qui s'accomplit dans les cristallisations en grand qui s'opèrent parfois dans les verreries.

On sait, en effet, que si, dans du verre fondu de composition convenable, on projette des fragments de verre à l'état solide, ces fragments servent de point de départ et de centre à une cristallisation.

L'analogie des verres avec les dissolutions devait d'ailleurs faire prévoir ce phénomène.

En somme, la mise en liberté de la silice ne s'obtient artificiellement aux dépens d'un verre que dans certains cas particuliers, la dévitrification des verres ordinaires se fait le plus souvent suivant un mode inverse; les produits principaux qui se séparent à l'état cristallisé sont plus basiques que la partie qui reste à l'état vitreux, quand la cristallisation est opérée.

En effet, ces trois produits sont :

La wollastonite ;

La diopside ;

La mélilite,

qui ne contiennent guère que 50 % de silice, tandis que le verre, en général, en renferme 70 à 74 %; le résidu est donc encore plus acide et si, souvent, les analystes sont arrivés à des conclusions contraires, c'est que les cristaux prenaient naissance au sein d'un liquide complexe englobant nécessairement une partie décomposée encore liquide, en sorte que leur analyse ne peut pas ordinairement donner la composition des silicates qui se sont séparés par cristallisation.

Du reste, le microscope montre les proportions considérables de verre qui subsistent au milieu des concrétions de dévitrification en apparence les mieux cristallisées.

En résumé, nous nous représentons le verre comme formé d'un ou plusieurs composés définis dont les molécules sont dépourvues d'arrangement régulier et, par suite, différant entièrement des assemblages en réseaux propres aux substances cristallisées.

D'après les considérations ci-dessus exposées, les composés définis entrant dans la composition des verres seraient constitués par des molécules déjà bien individualisées au point du vue physique et composées par des agrégats atomiques définis au double point de vue de la composition chimique et de l'arrangement moléculaire.

Ces composés peuvent être, dans certains cas, identiques aux corps cristallisés susceptibles de prendre naissance au sein du verre; mais, dans d'autres cas, ils peuvent offrir une construction différente favorable seulement à la formation de certains corps cristallisés.

La tendance à la cristallisation est d'autant plus marquée que la composition du verre se rapproche davantage de celle d'une espèce ou d'un mélange de plusieurs espèces cristallines connues.

TABLE DES MATIÈRES

Paris. — Imprimerie E. BERNARD et Cie, 23, rue des Grands-Augustins.